Leitfaden

zu den

Vorlesungen

über

Physik

an der

Bergakademie zu Freiberg

von

F. Reich.

Zweiter Theil.

Freiberg, 1853.

Verlag von Craz & Gerlach.

Leitfaden für den Unterricht

über

Magnetismus, Elektricität und Licht

von

Ferdinand Reich.

Freiberg, 1853.
Verlag von Craz & Gerlach.

Vorwort.

Durch die Herausgabe dieses zweiten Theiles des Leitfadens für meinen Unterricht über Physik erwarte ich mit Zuversicht bei dem Vortrage der behandelten Lehren wesentlich unterstützt zu werden; ob es mir damit gelingt, einem wie es mir scheint allgemeineren Bedürfnisse abzuhelfen, ist eine Frage, deren Beantwortung ich von competenten Lehrern erwarten muß.

In dem dritten Abschnitte habe ich die Contacttheorie consequent durchzuführen gesucht, weil ich glaube, daß in einem solchen elementaren Leitfaden eine Ansicht festgehalten werden muß, und die Contacttheorie vor der chemischen Theorie des Galvanismus mir Vorzüge zu haben scheint, nicht weil ich glaube, der Streit zwischen beiden sei bereits entschieden.

Alle die Männer zu nennen, deren Arbeiten ich benutzte, ist in einem solchen Werkchen nicht passend und nicht möglich; indessen fühle ich mich verpflichtet, des häufigen Gebrauches zu gedenken, den ich von dem Müller-Pouilletschen Lehrbuche der Physik gemacht habe. Der vierte Abschnitt ist der Hauptsache nach ein Auszug aus diesem Werke.

Erster Abschnitt.

Vom Magnetismus.

Kap. 1. Einwirkung der Magnete auf einander.

Nur gewisse Substanzen sind des Magnetismus fähig, magnetisirbar.

Anmerkung. Die geringen Spuren magnetischer Wirkung, welche bei allen Körpern aufgefunden worden sind, werden in Kap. 5. behandelt werden.

Von den chemischen Elementen sind nur Eisen, Nickel, Kobalt und Aluminium mit Sicherheit als magnetisirbar erkannt worden.

Die Verbindungen des Eisens mit Kohlenstoff zu Gußeisen und Stahl, mit Sauerstoff zu schwarzem Eisenoxyd, mit Schwefel zu Magnetkies, mit vielen Metallen zu Legirungen sind ebenfalls magnetisirbar; — wogegen im Eisenoxyd, Schwefelkies, Arsenikkies, den Eisensalzen die Magnetisirbarkeit, Spuren abgerechnet, verschwunden ist.

In einem magnetisirbaren Körper muß der Magnetismus hervorgerufen werden, um ihn zum Magneten zu machen.

Die natürlichen Magnete sind Magneteisensteine, in denen die Erde selbst den Magnetismus ohne unser Zuthun, — die künstlichen Magnete, deren wir uns gewöhnlich bedienen, sind Stahlkörper, in denen man den Magnetismus durch später anzugebende Mittel entwickelt hat.

Die gebräuchlichsten künstlichen Magnete sind Stäbe (Nadeln) und Hufeisen.

Ein Magnet zieht magnetisirbare Körper an. Diese Anziehung findet auch in der Entfernung Statt, ihre Größe nimmt aber mit der Zunahme der Entfernung ab. Dazwischen liegende unmagnetisirbare Körper haben keinen Einfluß auf diese Wirkung.

Die anziehende Kraft eines Magneten geht von bestimmten Punkten als Mittelpunkten der Wirkung aus, und diese heißen die Magnetpole. Jeder Magnet hat wenigstens zwei Pole, und zwischen je zwei benachbarten Polen liegt ein Indifferenzpunkt. — Stabmagnete und Magnetnadeln haben die Pole in der Regel nahe an ihren Enden.

Der eine Pol eines regelmäßigen Magnets zieht den einen eines zweiten Magnets an, und stößt den andern desselben ab. Der zweite Pol des ersten Magnets wirkt entgegengesetzt wie der erste Pol auf die beiden Pole des zweiten Magnets.

Es giebt daher zweierlei Magnetpole, die man nach der Richtung, welche eine in horizontaler Ebene frei bewegliche Magnetnadel annimmt, Nordpol und Südpol nennt.

Die gleichnamigen Pole zweier Magnete stoßen sich ab, die ungleichnamigen ziehen sich an.

Hierdurch dient eine bewegliche horizontale Magnetnadel zur Erkennung der Art eines Magnetpoles, wobei der Sicherheit wegen immer die Abstoßung zu beobachten ist. — Ein magnetisirbarer aber unmagnetischer Körper zieht überall beide Pole an.

Jeder magnetisirbare Körper wird durch einen genäherten Magnetpol magnetisch, indem am zugewendeten Ende ein ungleichnamiger, am abgewendeten ein gleichnamiger Pol hervorgerufen wird, was die magnetische Influenz heißt. Daher ist die Anziehung eines magnetisirbaren aber ursprünglich unmagnetischen Körpers durch einen Magnetpol immer Anziehung ungleichnamiger Pole.

Ein starker Magnetpol kann wegen überwiegender Influenzwirkung einen schwachen gleichnamigen Pol anscheinend anziehen.

Zu Erklärung der magnetischen Erscheinungen, — wenn man sie nicht, wie weiter unten geschehen soll, auf die Wirkungen elektrischer Ströme zurückführt, — nimmt man zwei imponderabele magnetische Materien an, von denen die Theile einer jeden sich gegenseitig abstoßen, die der andern aber anziehen. Ein magnetisirbarer aber unmagnetischer Körper enthält sie beide in gleicher Menge gleichförmig vertheilt, so daß ihre Wirkungen einander aufheben. Soll der Magnetismus entstehen, so müssen sie getrennt werden. In einem Magnete haben die beiden getrennten magnetischen Materien das Bestreben, sich wieder zu vereinigen, wodurch der Magnetismus vernichtet, oder, bei theilweiser Vereinigung, geschwächt wird.

Die Körper setzen der Veränderung ihres magnetischen Zustandes mehr oder weniger Widerstand entgegen, welchen man mit

Coërcitivkraft bezeichnet. Stahl besitzt die größte Coërcitivkraft, um so mehr, je härter er ist; weiches Eisen die geringste. Deshalb ist dieses gar nicht, jener vorzugsweise zu permanenten künstlichen Magneten tauglich.

Durch Erwärmen wird erst die Coërcitivkraft, endlich die ganze Fähigkeit, magnetisirbar zu werden, zerstört; die Temperatur, in welcher dieses geschieht, ist für verschiedene Körper verschieden. Nickel verliert z. B. seine Magnetisirbarkeit schon bei 350° C., Eisen erst beim lebhaften Glühen.

Durch jede Temperaturerhöhung wird die Stärke eines Magneten vermindert, durch Erkältung, jedoch weniger, vermehrt. Deshalb werden alle Stahlmagnete mit der Zeit schwächer. Man vermindert diese Schwächung durch Anlegung von weichen Eisenmassen, Ankern, an ihre Pole.

Es ist unmöglich, die eine der beiden magnetischen Wirkungen in einem Körper ganz oder theilweise zu isoliren, jeder Nordmagnetismus in einem Körper bedingt in demselben eben so viel Südmagnetismus, und umgekehrt.

Zerbricht man einen regelmäßigen Magnetstab, so erhält man in jedem Theile wieder einen regelmäßigen Magnet. Findet man Stahlstäbe, die an beiden Enden einerlei Pole zeigen, so ist dieß nur eine Folge von sogenannten Consequenzpunkten, d. h. dem Auftreten von mehr als zwei Polen.

Damit hängt zusammen, daß man die angenommenen magnetischen Materien niemals von einem Körper auf einen andern übertragen kann, daß daher jedes Magnetisiren in der Trennung der bereits vereinigt vorhanden gewesenen entgegengesetzten Magnetismen, diese Trennung aber nur auf die kleinsten Theilchen des Körpers sich erstreckend gedacht werden muß. Deshalb kann man eine Anzahl Stahlstäbe durch zweckmäßige gegenseitige Einwirkung zu starken Magneten machen, wenn nur Einer davon anfänglich etwas Magnetismus besitzt.

Um einem Stahlkörper kräftigen Magnetismus zu ertheilen, muß man Magnetpole über ihn hinwegführen, ihn streichen. Man unterscheidet den einfachen und den Doppelstrich. Der Streichmagnet soll stärker sein als der zu streichende, weshalb man stärkere Magnete aus mehreren Lamellen zusammensetzt.

Zu guten Magneten gehört ein gleichförmiger Stahl, Lagen und Streifen von weichem Eisen in demselben schaden beträchtlich.

Aus der Tragkraft eines Magneten kann man seine Stärke nur annähernd beurtheilen.

Kap. 2. Magnetische Wirkung der Erde.

Die Erde wirkt als Magnet.

Die Wirkung eines Magneten auf einen andern läßt sich auf die Wirkung jedes seiner Pole auf jeden Pol des zweiten zurückführen. Das Resultat ist theils eine richtende, theils eine fortbewegende Kraft. Die Wirkung der Erde auf einen Magneten reducirt sich wegen der großen Entfernung der Erdpole auf eine richtende Kraft allein.

Die Richtung, welche die magnetische Axe, d. h. die die beiden Pole eines Magneten verbindenden Grade, in Folge der Erdwirkung anzunehmen strebt, heißt die Richtung der magnetischen Erdkraft.

Ein Magnet kann nur in einer Ebene frei beweglich hergestellt werden. Ein Magnet, der sich in der Horizontalebene frei bewegen kann, indem er oberhalb seines Schwerpunktes auf einer Spitze ruht oder an einem Faden von geringer Torsionskraft hängt, bestimmt durch die Ruhelage seiner magnetischen Axe die Vertikalebene durch die Richtung der magnetischen Erdkraft, welche der magnetische Meridian genannt wird. Der Winkel, den diese Vertikalebene mit dem geographischen Meridiane, oder den die magnetische Axe einer horizontalen Nadel mit der Mittagslinie macht, heißt die magnetische Abweichung oder Declination, die nach der Lage des Nordpoles westlich oder östlich sein kann. — Deshalb heißt eine in horizontaler Ebene frei bewegliche Magnetnadel eine Declinationsnadel.

Jede ruhende Declinationsnadel giebt die Declination an, wenn durch eine Kreiseintheilung oder sonst Mittel vorhanden sind, den Winkel zu messen, den sie mit der Mittaglinie macht. Für genauere Bestimmungen ist es nöthig, die Nadel in zwei um 180° differirenden Lagen zu beobachten, was nur mit an einem Faden aufgehängten Nadeln geschehen kann, am besten, nach Gauß, durch Verbindung der Nadel mit einem Spiegel, in welchem man mit einem Fernrohre eine feste horizontale Skale beobachtet. Dabei muß auch die Wirkung der Torsion des Fadens aufgehoben werden.

Die nahe constante Richtung, welche eine Declinationsnadel annimmt, dient zu Bestimmung der Richtung anderer Horizontallinien, und findet namentlich beim Bergbau und bei der Schifffahrt Anwendung.

Die Eintheilung des Compasses wird umgekehrt gezählt, wie die Azimuthalwinkel, weil man nicht die Nadel auf den Nullpunkt der Theilung stellt, und den Winkel abliest, den die zu bestimmende Richtung auf der Theilung dann abschneiden würde; — sondern weil man den Nullpunkt der Theilung in die durch diese Richtung gelegte Vertikalebene bringt, und den Winkel abliest, den alsdann die Nadel mit diesem Nullpunkt macht.

In so fern die Declination sich nicht ändert, ist ihre Kenntniß nicht erforderlich, wenn man nur den Winkel bestimmen will, den verschiedene Horizontallinien mit einander machen.

Wirken magnetisirbare oder magnetische Körper in der Nähe der Nadel störend ein, so kann man in einigen Fällen den Fehler corrigiren (Barlow's Correctionsscheibe), in anderen den Winkel zwischen zwei Horizontallinien dadurch richtig bestimmen, daß man den Compaß bei Messung beider Richtungen im Scheitel ihres Winkels an unveränderter Stelle läßt. (Braunsdorfs Markscheideinstrument.)

Der Winkel, den die Richtung der magnetischen Erdkraft mit der Horizontalebene macht, heißt die magnetische Neigung oder Inclination. Sie kann nördlich oder südlich sein, je nachdem Nord- oder Südpol sich nach unten senkt.

Man bestimmt sie durch eine in der Vertikalebene frei bewegliche, also um eine horizontale, durch den Schwerpunkt gehende Axe drehbare Nadel, welche Inclinationsnadel heißt, indem man deren Bewegungsebene in den magnetischen Meridian einstellt.

In einer Vertikalebene, die mit dem magnetischen Meridian den Winkel $= \alpha$ macht, wird der Winkel $= x$ einer Inclinationsnadel mit dem Horizonte, wenn die Inclination $= i$ ist, durch den Ausdruck gegeben

$$\text{cotg. } x = \text{cotg. } i \text{ . cos. } \alpha,$$

also stellt sich in einer auf dem magnetischen Meridiane normalen Vertikalebene die Nadel vertikal. Da sie in dieser Lage sehr empfindlich, dagegen im magnetischen Meridiane sehr unempfindlich gegen eine Veränderung des Azimuths ihrer Bewegungsebene ist, was aus obiger Gleichung erhellt, so wird durch Aufsuchung der Vertikalebene, in welcher die Nadel vertikal steht, der magnetische Meridian mit mehr als hinlänglicher Genauigkeit für den Zweck der Inclinationsbeobachtung bestimmt.

Wegen der etwaigen Excentricität der Drehungsaxe sind immer beide Pole zu beobachten — weil die Richtung der Nadel nicht nothwendig mit ihrer magnetischen Axe zusammenfällt, muß sie um 180° um diese Axe gedreht nochmals beobachtet werden — und weil die Umdrehungsaxe nicht genau durch den Schwerpunkt geht, so sind die Pole umzukehren und dann die vorigen Beobachtungen zu wiederholen..

Durch Declination und Inclination erfährt man die Richtung der magnetischen Erdkraft; außerdem ist aber noch die Stärke dieser Kraft oder ihre Intensität zu bestimmen. Sei dieselbe $= I$ und die magnetische Kraft einer Nadel $= m$, so ist die Kraft, welche die letztere in die Richtung der magnetischen Erdkraft einzustellen sucht, $P = Im$. Verändert sich I zu I' so werde P zu P', es bleibe aber m unverändert, so hat man $P' = I'm$ und

$$P : P' = I : I'$$

man findet also das Verhältniß der magnetischen Erdkraft durch das Verhältniß der Kraft, mit welcher eine und dieselbe unveränderte Nadel in die Richtung der magnetischen Erdkraft getrieben wird. Diese Kraft ergiebt sich aber aus der Schwingungszeit der Nadel. — Die Schwingungen einer Magnetnadel erfolgen nach den Gesetzen der Pendelschwingungen; ist also die auf unendlich kleine Bögen reducirte Schwingungsdauer einer Inclinationsnadel im magnetischen Meridian einmal τ und ein anderes Mal τ' Secunden, so ist $I : I' = \frac{1}{\tau^2} : \frac{1}{\tau'^2}$.

Die Schwingungen einer Inclinationsnadel sind von zu kurzer Dauer, um genaue Resultate zu geben; wogegen an Fäden aufgehängte Declinationsnadeln sehr lange Zeit schwingen, ehe sie zur Ruhe kommen. Durch Beobachtung der Schwingungszeiten, t und t', einer unveränderten Declinationsnadel erfährt man das Verhältniß der Intensitäten, T und T', des horizontalen Theiles der Erdkraft, indem $T : T' = \frac{1}{t^2} : \frac{1}{t'^2}$

Aus T ergiebt sich $I = \frac{T}{\cos. i}$, wenn i die Inclination bedeutet.

Bei der Bestimmung der Schwingungszeit einer Declinationsnadel sind Correctionen wegen der Reduction auf unendlich kleine Bögen und, wenn die Nadel an einem Faden hängt, wegen der Torsionskraft des Fadens anzubringen.

Da die Bestimmung der Schwingungszeit einer Nadel eine längere Zeit in Anspruch nimmt, so erfährt man dadurch nur die während der Beobachtungszeit Statt gehabte mittlere Intensität. Um die Veränderungen derselben in jedem Augenblicke beobachten zu können, hat Gauß das Bifilar=Magnetometer angegeben. Eine Declinationsnadel wird an zwei Fäden aufgehängt, und durch Drehung der Aufhängepunkte genöthigt, sich fast normal auf den magnetischen Meridian zu stellen. Es sei die horizontale Intensität $= T$, der Winkel, den die magnetische Axe der Nadel mit dem magnetischen Meridiane macht $= \alpha$ (fast 90^0), die Torsion des Fadens $= q$, die magnetische Kraft der Nadel $= m$, so ist $q = mT \sin. \alpha$.

Aendert sich T in $T + x$, so werde α zu $\alpha - \delta$, während q merklich unverändert bleibt, weshalb dann

$$q = m (T + x) \sin. (\alpha - \delta)$$

und

$$T \sin. \alpha = (T + x) \sin. (\alpha - \delta)$$

woraus, indem $\cos. \delta = 1$ gesetzt wird,

$$\frac{x}{T+x} = \frac{\sin. \delta}{tg. \alpha}$$

d. h. wenn α sich 90^0 sehr nähert, wird ein sehr kleines x eine merkliche Aenderung δ des Ablenkungswinkels bewirken, und die Aenderungen der Horizontalintensität sind dem Sinus der Richtungsänderung proportional.

Auch hierbei wird vorausgesetzt, daß der Magnetismus der Nadel sich nicht ändere. Dieß ist aber schon bei Temperaturänderungen nicht der Fall, weshalb Correctionen wegen der Temperatur angebracht werden müssen; — und in längeren Zeiträumen kann man niemals sich gegen solche Aenderungen des Nadelmagnetimus schützen.

Eine astatische Nadel ist eine frei bewegliche Magnetnadel, auf welche die Erde keine Richtkraft ausübt. Man erhält sie durch eine Nadel, deren Bewegungsebene normal auf der Richtung der magnetischen Erdkraft ist;

Aufhebung der Erdkraft mittelst eines gleich starken und entgegengesetzt wirkenden Magneten;

Verbindung zweier gleichen Magnetnadeln in entgegengesetzter Stellung.

In einem Stück weichen Eisens bringt die Erde Magnetismus durch Influenz in der Richtung der magnetischen Erdkraft hervor, was der Magnetismus der Lage genannt wird. Deshalb haben alle vertikalen Eisenstäbe bei uns unten einen Nordpol, oben einen Südpol. Durch Erschütterungen wird die Wirkung befördert und auch in Stahlstäben hervorgebracht.

Kap. 3. Wirkung eines Magneten auf einen andern in der Entfernung. Messung der Intensität nach absolutem Maaße.

Die Wirkung eines magnetischen Elementes auf ein anderes verhält sich wie das Produkt aus den Intensitäten beider und umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung.

Wirkt ein Magnet von dem magnetischen Momente $= M$ in der Entfernung $= R$ auf einen zweiten Magneten von dem Momente $= m$, steht die Axe des letzteren normal auf der Richtung der Wirkung, und macht die Axe des ersten mit der Verbindungslinie beider Magnete der Winkel $= \beta$, so ist das Drehungsmoment, welches der erstere Magnet auf den zweiten ausübt $= \frac{Mm}{R^3}\sqrt{3\cos.\beta^2 + 1}$ unter der Voraussetzung, daß die Länge der Magnete verschwindend klein ist gegen ihre Entfernung R von einander.

Die Richtung der Kraft, welche auf den zweiten Magneten ausgeübt wird, macht mit der Verbindungslinie beider Magnete einen Winkel $= \varphi$, der gegeben ist durch die Gleichung $\mathrm{tg.}\,\varphi = \frac{1}{2}\,\mathrm{tg.}\,\beta$.

Die Wirkung wird ein Maximum, wenn $\beta = 0$ und also auch $\varphi = 0$, d. h. wenn der erste Magnet sich mit seiner Axe in der Verbindungslinie beider Magnete befindet, und diese Verbindungslinie normal auf der Axe des zweiten Magneten steht; sie ist dann

$$\frac{2\,Mm}{R^3}.$$

Die Wirkung wird ein Minimum, wenn $\beta = 90^0$, und also auch $\varphi = 90^0$, d. h. wenn der erste Magnet mit seiner Axe normal auf der Verbindungslinie beider Magnete steht, und diese Verbindungslinie mit der magnetischen Axe des zweiten Magneten zusammenfällt; sie ist dann

$$\frac{Mm}{R^3}.$$

Wenn daher auf eine Declinationsnadel ein mit ihr in derselben Horizontalebene befindlicher Magnet in der Entfernung R einwirkt, so wird seine Wirkung doppelt so groß sein, wenn er sich westlich oder östlich, als wenn er sich nördlich oder südlich von ihr befindet, dabei immer von Ost nach West gerichtet bleibend.

Als Einheit des magnetischen Momentes nimmt man das eines Magneten an, der auf einen gleich starken zweiten, in dessen Verlängerung er sich befindet, und auf dessen Richtung er normal steht, in der Entfernung = 1 (1 Meter) ein Drehungsmoment von 1 Gewichtseinheit (1 Milligramm) in der Entfernung $^1/g$ (Meter) von der Drehungsaxe ausübt, wobei g das Beschleunigungsmaaß der Schwerkraft bezeichnet.

Nennt man den horizontalen Theil der magnetischen Erdkraft = T, so wird eine Declinationsnadel von dem Momente = m, die um den Winkel = v abgelenkt ist, mit einer Kraft = Tm sin. v zurückgedreht. Befindet sich normal auf dem magnetischen Meridian in derselben Horizontalebene ein Magnet vom Momente = M in der Entfernung = R, liegt die magnetische Axe desselben in der Verbindungslinie beider Magnete, und wird die Nadel um den Winkel = v abgelenkt, so ist die Kraft, mit welcher der Magnet die Nadel weiter abzulenken sucht

$$= \frac{2\,Mm}{R^3} \cos.\, v$$

also

$$Tm \sin.\, v = \frac{2\,Mm}{R^3} \cdot \cos.\, v$$

daher

$$\frac{M}{R^3} = \frac{T \operatorname{tg.} v}{2},$$

woraus sich ergiebt, daß die Ablenkung, die eine Nadel von einem Magneten in gegebener Entfernung und Lage erhält, unabhängig von dem Magnetismus der Nadel ist, und daher zu Messung der Stärke eines Magneten angewendet werden kann.

Schwingt eine horizontale Nadel von dem auf die Entfernung = 1 von der Drehungsaxe reducirten Trägheitsmomente = K, und macht eine Schwingung in t Sekunden unter dem Einfluß des horizontalen Theiles der Erdkraft = T; ist ferner das auf die Entfernung = $^1/g$ reducirte magnetische Moment der Nadel = M, so hat man

$$MT = \frac{\pi^2 K}{t^2}.$$

Wird dieselbe Nadel in der Entfernung = R normal auf den magnetischen Meridian neben einer anderen angebracht, ihre magne=

tische Axe mit der Verbindungslinie beider zusammenfallend, und lenkt sie die zweite um den Winkel = v vom Meridian ab, so ist nach Obigem

$$\frac{T}{M} = \frac{2}{R^3 \, tg. \, v}$$

daraus aber

$$T = \frac{\pi}{t} \sqrt{\frac{2K}{R^3 \, tg. \, v}}$$

worauf die von Gauß gegebene Bestimmung der Intensität der magnetischen Erdkraft nach absolutem Maaße beruht.

Die Beobachtung der Ablenkung v muß in vier verschiedenen Lagen des Ablenkungsmagneten wiederholt werden, um ein richtiges Mittel zu geben. Die Bestimmung von K erhält man durch Ausmessung und Berechnung, oder besser durch die Schwingungszeit des Magneten mit einem Hilfsgewichte von bekanntem Trägheitsmomente. Bei Bestimmung der Schwingungszeit, die auf unendlich kleine Bögen zu reduciren ist, und der Ablenkung ist die Torsionskraft des Fadens zu berücksichtigen. Endlich muß man sich erinnern, daß die Formel

$$\frac{T}{M} = \frac{2}{R^3 \, tg. \, v}$$

nur für unendlich große Entfernungen genau ist. Zum Behufe der deshalb nöthigen Correction muß man die Ablenkungsbeobachtungen in einer zweiten, von der ersten verschiedenen Entfernung wiederholen.

Kap. 4. Von dem magnetischen Zustande der Erde.

Richtung und Intensität der magnetischen Erdkraft wechseln mit dem Orte der Erdoberfläche und mit der Zeit, die Richtung sowohl in Bezug auf Declination als auf Inclination. Der magnetische Zustand der Erde würde vollständig bekannt sein, wenn wir Richtung und Stärke des Erdmagnetismus für jeden Ort und jede Zeit genau anzugeben wüßten.

Die einfachste Annahme, die man über den magnetischen Zustand der Erde machen könnte, wäre, daß sie eine mit der Umdrehungsaxe zusammenfallende Magnetaxe habe, was aber schon durch die Abweichung widerlegt wird, die der magnetische Meridian fast überall von dem geographischen Meridiane zeigt.

Hätte die Erde eine einzige Magnetaxe, deren Mittelpunkt mit dem Erdmittelpunkte zusammenfiele, und deren Durchschnittspunkte mit

der Erdoberfläche die magnetischen Erdpole sein würden, — so ließe sich die Lage der Axe und die Intensität dieses Erdmagneten, folglich auch der magnetische Zustand der Erde vollständig durch die Beobachtung der Declination, Inclination und Intensität an einem einzigen Punkte der (kugelförmig angenommenen) Erdoberfläche bestimmen, — denn

durch die Declination fände man den größten Kreis, in welchem sich die Erdaxe befände;

durch die Inclination = i den Bogen = β, der den Beobachtungsort von dem Pole trennt, indem

$$\text{tg.}\,\beta = 2\,\text{cotg.}\,i;$$

durch die absolute (totale) Intensität = Q das Moment der magnetischen Erdaxe

$$M = \tfrac{1}{2}\,Q\,R^3 \cos.\,i\,\sqrt{\text{tg.}\,i^2 + 4},$$

wenn R den Erdhalbmesser bedeutet.

Aus der Lage der magnetischen Erdpole und aus dem magnetischen Momente der Erde würde sich aber Declination, Inclination und Intensität für jeden Ort an der Erdoberfläche bestimmen lassen.

Allein die Ausführung solcher Rechnungen lehrt, daß die Annahme einer einzigen magnetischen Erdaxe nicht ausreicht.

Wie aus einer hinlänglichen Anzahl von genauen Beobachtungen der Declination und horizontalen Intensität an über die Erdoberfläche zweckmäßig vertheilten Punkten der magnetische Zustand der Erde vollständig abgeleitet werden könne, ist von Gauß gezeigt worden. Hier müssen wir uns mit einer Uebersicht der Ergebnisse der unmittelbaren Beobachtung begnügen.

a. Declination.

Zu besserer Uebersicht über die an verschiedenen Punkten der Erdoberfläche stattfindenden Declinationen sind von Halley die Declinations- oder isogonischen Linien eingeführt worden.

Zwei Linien ohne Abweichung, — von denen die eine von der Hudsonsbay in der Richtung SSW durch Nordamerika läuft, in der Gegend von Washington das atlantische Meer erreicht, dann aber die Ostspitze von Südamerika abschneidet, die andere vom weißen Meere nach dem caspischen Meere, durch die Ostspitze Arabiens und den indischen Ocean nach Neuholland verläuft — theilen die Erdoberfläche in zwei Hälften, von denen die eine, Europa umfassende, Orte mit westlicher, die andern Orte mit östlicher Declination begreift. In-

dessen zeigt sich im östlichen Asien ein großer Raum mit westlicher Declination, indem die asiatische Linie ohne Abweichung vom indischen Meere aus eine große Biegung nach Norden macht, um dann über Japan wieder ziemlich nach derselben Stelle in Hinterindien zurückzukehren. — Die Convergenz der Declinationsnadeln zeigt im Norden von Nordamerika einen Südpol an, der nach Roß bei 71° N. B. und 282 O. L. Ferro, — und eben so in Süden von dem östlichen Theile Neuhollands einen Nordpol, der nach demselben bei 76° S. B. und 171° O. L. Ferro liegt. —

Der magnetische Zustand der Erde ändert sich aber mit der Zeit, und somit ist auch die Declination an demselben Orte veränderlich. Man unterscheidet vorzugsweise die säcularen Variationen, die stündlichen Variationen, und die Perturbationen.

Die säcularen Variationen bestehen in einer Jahrhunderte lang nach derselben Seite gerichteten Aenderung der Declination. Als am Ende des 15. Jahrhunderts die Abweichung zuerst in Europa beobachtet wurde, war sie östlich, sie verminderte sich aber und wurde etwa in der Mitte des 17. Jahrhunderts (in London 1657, in Paris 1666) Null, dann ferner in immer zunehmende westliche Declination übergehend, die zwischen 1815 und 1820 ihr Maximum (in London etwa 24,5°, in Paris etwa 22,5°) erreichte, seitdem aber wieder abnimmt. In Freiberg fand man durch Markscheiderbeobachtungen die Declination

im Jahre	1649	1°	49'	östlich
	1663	2	28	westlich
	1669	3	57	=
	1693	7	55	=
	1702	9	22	=
	1735	12	33	=
	1747—49	14	29	=
	1773	15	28	=
	1775	16	52	=
	1800	18	8	=
	1805	18	55	=
	1810—13	19	23	=
	1815	18	34	=
	1819	17	59	=
	1822	17	55	=
	1828	17	49	=

im Jahre	1830	17°	39'	westlich
	1835	17	21	„
	1840	16	52	„
	1845	15	56	„
	1850	15	47	„
Sept.	1852	15	12	„

Eine Gesetzmäßigkeit dieser Aenderungen, aus der man auf die Zukunft oder auf die Aenderungen an andern Orten schließen könnte, aufzufinden, ist bis jetzt nicht gelungen.

Die stündlichen Variationen sind Veränderungen der Declination von einer Stunde zur andern, so daß die Nadel der Hauptsache nach zu derselben Stunde jeden Tages wieder dieselbe Richtung annimmt. In der nördlichen Hemisphäre erreicht sie um etwa 8 Uhr Morgens ihren östlichsten Stand, bewegt sich darauf gegen Westen, um gegen 2 Uhr Abends den westlichsten zu erreichen, und geht dann wieder nach Osten zurück, wobei sie in der Nacht wiederum ein Minimum und ein Maximum zeigt, sich jedoch vom mittleren Stande weniger als in den erwähnten Wendestunden entfernt; auch sind die Zeiten und Größen dieser nächtlichen Extreme weniger genau bestimmt.

Die Differenz zwischen dem westlichsten und östlichsten Stande ist in den langen Tagen größer als in den kurzen; so fand man sie z. B. in Göttingen im Mittel aus Beobachtungen in den Jahren 1834 bis 1845 zwischen 8 Uhr Morgens und 1 Uhr Abends im

April	14'	2,70"
Mai	12	48,44
Juni	12	41,95
Juli	12	4,39
August	12	34,76
September	11	14,13
October	9	18,14
November	5	42,87
December	4	23,98
Januar	5	18,12
Februar	6	40,17
März	10	53,11

Die Extreme entfernen sich in den Sommermonaten etwas mehr von der Mittagsstunde, als in den Wintermonaten; übrigens treten sie an allen Orten immer zu derselben Zeit ein, was einen Zusammenhang mit dem Stande der Sonne anzeigt.

Nach dem Pole, also bei uns im Allgemeinen nach Norden hin, nehmen die täglichen Differenzen zu; — auf der Südhälfte der Erde bewegt sich die Nadel in denselben Stunden entgegengesetzt wie auf der Nordhälfte, — und beide Hälften werden durch eine Linie getrennt, auf welcher diese stündlichen Variationen verschwinden. Diese Linie liegt aber während unsers Winters mehr nördlich, während unsers Sommers mehr südlich, so daß z. B. in St. Helena die Variation zu unserer Winterszeit der südlichen, zu unserer Sommerszeit der nördlichen Erdhälfte angehört.

Die Perturbationen sind Aenderungen der Declination, die zu unbestimmten Zeiten in sehr verschiedenem Grade bald nach der einen, bald nach der andern Seite hin eintreten. Kleinere solche Aenderungen sind außerordentlich häufig, aber bisweilen treten sie sehr groß auf, so daß sie die regelmäßigen stündlichen Variationen beträchtlich übersteigen. Sie müssen von weit hin wirkenden Ursachen abhängen, indem sie an weit von einander entfernten Orten ganz gleichzeitig erscheinen. Auf beträchtliche Entfernungen zeigen sie sich auch in ihrem Gange sehr übereinstimmend, indessen in noch größeren Entfernungen hat man mehrfach entgegengesetzte Bewegungen gleichzeitig wahrgenommen. Nach den Polen hin nehmen sie an Größe zu, so daß sie bei uns in mehr nördlich gelegenen Gegenden größer sind als in südlicheren. Sie pflegen sehr plötzlich aufzutreten, und die Declinationsänderung nach einer Seite geht gewöhnlich schnell wieder in die entgegengesetzte über. — Ihre Beobachtung und das Bestreben nach Ergründung ihrer Ursache war die hauptsächlichste und erste Veranlassung zu den jetzt fast über die ganze Erde ausgedehnten correspondirenden magnetischen Beobachtungen. — Entschieden hat sich ein Zusammenhang zwischen der Erscheinung von Nordlichtern und dem Auftreten größerer Perturbationen herausgestellt.

b. Inclination.

Wäre der magnetische Zustand der Erde auf die Annahme einer einzigen magnetischen Axe im Mittelpunkte der Erde zurückzuführen, so würden da, wo die Verlängerung dieser Axe die Erdoberfläche schneidet, magnetische Erdpole sein, an denen die Nadel vertikal steht; ein größter Kreis normal auf die Axe würde die Erdoberfläche in der Linie schneiden, an welcher die Inclination = 0 wäre, welche die Punkte nördlicher Inclination von denen südlicher scheidet, und die man den magnetischen Aequator nennt; in der magnetischen

Breite = ψ würde die Inclination = i durch die Gleichung tg. i = 2 tg ψ gegeben sein, und die isoklinischen Linien wären Parallelkreise normal auf die magnetische Axe.

In der Wirklichkeit weichen die Verhältnisse von diesen idealen ab; der magnetische Aequator läuft im stillen Meere ziemlich nahe und ziemlich parallel von dem Erdäquator, nach Asien hin nördlich, nach Amerika hin südlich von demselben, weicht aber in Südamerika beträchtlich nach Süden, in Afrika beträchtlich nach Norden davon ab; — die magnetischen Pole liegen nicht diametral entgegengesetzt, und die übrigen Isoklinen sind auch keine Parallelkreise. Von Amerika nach Europa haben die Isoklinen eine nordöstliche Richtung, und erinnern an die ähnlich gerichteten Isothermen. — In der Nähe des magnetischen Aequators ist übrigens, obigem Ausdrucke gemäß, die Inclination nahe zu doppelt so groß als die magnetische Breite.

Ueber die secularen Aenderungen der Inclination weiß man, daß in Europa letztere seit dem vorigen Jahrhundert abgenommen hat, daß ihre Abnahme am Ende des vorigen Jahrhunderts jährlich etwa 5 Minuten betrug, aber jetzt geringer ist, und wir uns zweifelsohne einem Minimum nähern. Im Jahre 1833 war sie zu Freiberg 67° 20'. — In Nordamerika nimmt die Inclination jetzt zu.

Die stündlichen Variationen der Inclination sind bei uns weit geringer, als die der Declination, und deshalb sowohl als wegen der unvollkommneren Beobachtungsmittel schwierig festzustellen. Nach Beobachtungen in Dublin betragen sie im Durchschnitt 2', jedoch im Sommer mehr als doppelt so viel wie im Winter; um 10h bis 10h30' Morgens tritt ein Maximum, um 6h Abends ein Minimum ein.

Perturbationen erleidet die Inclination ebenfalls, doch bei uns weniger stark, als die Declination.

c. Intensität.

Bei einer magnetischen Axe im Mittelpunkte der Erde würden die Linien gleicher Intensität, die isodynamischen Linien, mit den isoklinischen zusammenfallen, und die Intensität am magnetischen Aequator würde sich zu der an den Polen verhalten wie 1 : 2. In der Wirklichkeit ist die Intensität nicht an allen Punkten des magnetischen Aequators dieselbe, sondern auf der Seite von Amerika stärker als auf der von Asien, stärker westlich als östlich von Amerika. Am schwächsten ist sie zwischen Südamerika und Afrika, am stärksten in der Nähe des magnetischen Nordpoles südlich von Neuholland, so

daß ihre Extreme nach der Rechnung von Gauß sich etwa wie 0,8 : 2,3 verhalten. — In Folge dieser Vertheilung sind die isodynamischen Linien von Amerika nach Europa noch stärker nördlich gerichtet, als die isoklinischen.

Ganz anders verhält sich die horizontale Intensität, die an den Polen = 0, im Allgemeinen am magnetischen Aequator am größten ist.

In Bezug auf seculare Aenderungen der Intensität ist noch nichts bekannt. Hinsichtlich der stündlichen Variationen sind nur die der horizontalen Intensität beobachtet, die, so weit die Beobachtungen einen Schluß gestatten, hauptsächlich nur von den Aenderungen der Inclination abhängen, so daß die totale Intensität wenig oder keine Aenderungen erleidet, — mit der Zunahme der Inclination aber eine Abnahme der horizontalen Intensität nothwendig verbunden ist. — Dieses findet auch auf die Perturbationen Anwendung.

Kap. 5. Ueber die schwache Wirkung von Magneten auf alle Körper und den Diamagnetismus.

Schon früher waren einige Beobachtungen bekannt, nach welchen sehr starke Magnete auf sonst für nicht magnetisirbar gehaltene Substanzen einwirken, und theils sie abstoßen (Wismuth nach Brugmanns), theils sie anziehen (verschiedene Substanzen nach Coulomb). Faraday zeigte, daß hinlänglich starke Magnete auf alle Körper eine Einwirkung ausüben, und entweder sie anziehen oder sie abstoßen, und theilt daher die Körper in magnetische und diamagnetische. Jedoch ist zu bemerken, daß diese Wirkungen so schwach sind, daß man sie nur mit sehr starken Magneten und bei großer Beweglichkeit der Körper wahrnehmen kann, und sie daher auf die gewöhnlichen magnetischen Erscheinungen ohne merklichen Einfluß bleiben.

Die Eisen oder Nickel enthaltenden Substanzen mit wenigen Ausnahmen, Kupfer, Platin und mehrere andere Metalle sind magnetisch.

Diamagnetisch sind die meisten Körper, vorzugsweise Wismuth, dann Wasser, Phosphor, nicht eisenhaltiges Glas, Alkohol, Terpentinöl u. s. w.

Besonders interessant ist es, daß sich Sauerstoffgas verhältnißmäßig zu seiner Dichtigkeit stark magnetisch zeigt, weshalb ein weniger

stark magnetischer Körper im Sauerstoffgase oder in der Luft von einem Magnetpole abgestoßen wird, wenn er auch nicht diamagnetisch ist.

Ein diamagnetischer Körper wird sowohl von einem Nordpol als von einem Südpol abgestoßen, erleidet aber keine Einwirkung, wenn beide in gleicher Stärke von derselben Seite her wirken, was beweist, daß der Diamagnetismus auf einer Influenz beruht, die sich nur in entgegengesetzter Weise wie der Magnetismus äußert.

In Krystallen ist die magnetische oder diamagnetische Wirkung verschieden nach den verschiedenen krystallographischen oder optischen Axen.

Zweiter Abschnitt.

Elektrostatik.

Kap. 6. Haupteigenschaften elektrischer Körper.

Von den verschiedenen Mitteln, durch welche Körper in den elektrischen Zustand versetzt werden können, ist die Reibung verschiedenartiger Körper das bequemste und wirksamste. — Es giebt mehrere Körper, von denen vorläufig nur Glas und Harz (Siegellack, Bernstein) erwähnt werden sollen, die, mit einem andern Körper gerieben, elektrisch werden.

Sie haben alsdann das Vermögen, jeden andern Körper in der Entfernung anzuziehen.

Dieser elektrische Zustand kann sich von einem Körper auf andere, mit ihm in Berührung stehende verbreiten, und verliert dabei an Intensität, was er an Ausbreitung gewinnt. Deshalb nimmt man als Ursache des elektrischen Zustandes eine besondere Materie, die Elektricität, an, die imponderabel ist, und eine große Expansivkraft besitzt, so daß sie sich, wenn sie nicht durch Widerstände zurückgehalten wird, mit unmeßbarer Geschwindigkeit ausbreitet.

Die Körper setzen dieser Ausbreitung mehr oder weniger Widerstand entgegen, und man theilt sie deshalb in Leiter und Nichtleiter der Elektricität.

Vollkommene Leiter, d. h. Körper, welche der Ausbreitung der Elektricität gar keinen Widerstand entgegensetzen, giebt es eben so wenig, als vollkommene Nichtleiter, d. h. Körper, die gar keine Verbreitung der Elektricität durch sie hindurch aber über sie hinweg gestatteten, indessen findet doch ein sehr großer Unterschied in der Leitungsfähigkeit verschiedener Körper statt.

Die besten Leiter sind die Metalle, das Wasser, die wässrigen Auflösungen, feuchte und daher organische Körper, also der menschliche Körper und die ganze feuchte Erdoberfläche, ferner ausgeglühte Kohle, der luftverdünnte Raum, die Flammen u. a. m.

Die besten und am meisten in Betracht kommenden Nichtleiter sind Glas, Harze, Schwefel, Seide, Haare (Pelzwerk), unmetallische Steine, Pyroxilin, Guttapercha, Oele, Schwefelkohlenstoff u. a. vor allem aber auch die trocknen elastischen Flüssigkeiten und also die trockne Luft.

Zwischen inne stehen, und werden deshalb auch wohl Halbleiter genannt, Holz, Baumwolle, Leinen ꝛc., sich nach dem Grade ihrer Feuchtigkeit oder Trockenheit mehr den bessern Leitern oder Nichtleitern nähernd.

Je mehr Elektricität auf einem Körper angehäuft wird, um so größer ist ihre Spannung. In diesem Abschnitte ist nur von relativ stark gespannter Elektricität die Rede, und für solche ist der Widerstand, den die besseren Leiter entgegensetzen, so gering, daß er gemeiniglich unmerklich wird, und diese als vollkommene Leiter erscheinen. Dagegen müssen bei diesen höheren Spannungen, wo die Ausbreitung der Elektricität gehindert werden soll, möglichst gute Nichtleiter gewählt werden.

Ein mit dem Erdboden durch andere Leiter, also auch durch den menschlichen Körper in Verbindung stehender Leiter kann nicht elektrisch werden. Umgiebt man ihn aber ringsum mit Nichtleitern, was isoliren genannt wird, so wird er elektrisch sowohl beim Reiben mit einem Nichtleiter, als beim Berühren mit einem elektrischen Körper.

Ein elektrischer Körper, an einem Punkte ableitend berührt d. h. mit dem Erdboden in leitende Verbindung gebracht, verliert augenblicklich seine ganze Elektricität, wogegen dieß bei einem Nichtleiter nur in der Nähe des berührten Punktes geschieht.

Glasfüße und Seidenfäden dienen in der Regel als Isolatoren in Verbindung mit der umgebenden Luft. — Durch Feuchtigkeitsniederschlag an den Isolatoren werden sie leitend, weshalb elektrische Versuche nur in trockner Luft gut gelingen.

Zwei durch dieselbe Quelle elektrisirte Körper stoßen sich ab.

Ein mit einer geriebenen Glasstange elektrisirter Körper wird zwar von dieser abgestoßen, aber von einer geriebenen Siegellackstange angezogen. Es giebt also zwei verschiedene elektrische Zustände, die man angemessen mit positiv und negativ bezeichnet, indem jeder derselben an und für sich dieselben Erscheinungen der Hauptsache nach zeigt, sie sich aber gegenseitig durchaus wie entgegengesetzte Größen verhalten. — Man nimmt daher auch zwei elektrische Materien, eine positive und eine negative Elektricität, an. Die erstere erscheint an einer Glasstange, die man mit Wachstaffet, Leder u. a. reibt, die letztere an einer mit Wolle geriebenen Siegellackstange.

Gleichnamig elektrische Körper stoßen sich ab, ungleichnamig elektrische Körper ziehen sich an.

Dieses wird benutzt, um die Art der erregten El. bestimmen zu können, wobei die Beobachtung des Abstoßens allein entscheidend ist.

Durch Berührung zweier isolirter Leiter von gleicher Größe und Form, die ganz gleich stark elektrisirt sind, wird nichts geändert, wenn sie gleichnamig elektrisch sind; wogegen der elektrische Zustand vollständig verschwindet, wenn sie ungleichnamig elektrisch waren.

In jedem unelektrischen Körper nimmt man eine Vereinigung beider El. in unbekannter Menge an, und jede Art der Elektricitäts-Erregung oder jede elektromotorische Kraft, wie z. B. die Reibung, bewirkt auf eine uns unbekannte Weise deren Trennung, so daß die positive El. nach der einen, die negative El. nach der andern Seite getrieben wird. Wirklich entstehen auch bei jeder Elektricitäts-Erregung beide elektrische Zustände gleichzeitig, wenn es an der nöthigen Isolirung nicht fehlt. — Es ist im Erfolge gleichgiltig, ob man einem Körper einen Ueberschuß der einen El. zuführt, oder ob man ihm eben so viel von der entgegengesetzten El. nimmt.

Jede elektromotorische Kraft hat eine bestimmte Größe und wirkt daher so lange, bis ihr durch das Vereinigungsbestreben der getrennten Elektricitäten das Gleichgewicht gehalten wird; führt man daher die eine der beiden El. fortwährend in den Erdboden ab, so kann die andere mit doppelt so großer Intensität von derselben erregenden Kraft entwickelt werden, als wenn beide die entgegengesetzten El. aufnehmende Körper isolirt sind.

Sämmtliche Körper können in eine Reihe gebracht werden, aus welcher jedes Glied mit einem folgenden gerieben + e, mit einem vorhergehenden gerieben — e wird. Die wichtigsten Nichtleiter dieser Reihe sind:

Katzenfell
Glattes Glas
Wolle
Federn
Holz und Papier
Seide
Harz
Wachs
mattgeschliffenes Glas
Schwefel.

Je weiter zwei geriebene Körper in dieser Reihe auseinander stehen, um so stärker ist die Elektricitätserregung; — dieselbe hängt aber wesentlich auch von dem Drucke, der Geschwindigkeit der Reibung und der Größe und Gestalt der geriebenen Körper ab.

Auf der abstoßenden Kraft zweier elektrischer Körper beruhen die Elektroskope und Elektrometer. Als letzteres kann genau genommen nur die Drehwaage gelten. Nach dem Grade der Stärke der zu beobachtenden El. bedarf man Elektroskope von verschiedener Empfindlichkeit.

Kap. 7. Fortsetzung.

Die anziehende und abstoßende Kraft eines elektrischen Körpers auf einen andern verhält sich umgekehrt wie das Quadrat der Entfernung, was Coulomb mit Hilfe der Drehwaage erwiesen hat.

Zwei gleich große und gleichgestaltete isolirte Leiter theilen bei symmetrischer Berührung die auf ihnen angehäufte freie El. zu gleichen Theilen, und es ist dabei die Substanz und Masse der Leiter ohne Einfluß. Daraus folgt, daß die Elektricität keine Anziehung zu den Körpern hat. — Eine weitere, durch das Experiment bestätigte Folgerung daraus ist, daß die freie Elektricität eines Leiters sich nur an dessen Oberfläche anhäuft, und hier von dem Widerstande des umgebenden Nichtleiters, gewöhnlich zum größten Theile der umgebenden Luft, zurückgehalten wird, — so daß sie einen Druck auf den Nichtleiter ausübt, und um die Größe desselben den Luftdruck auf den Körper vermindert.

Deshalb wird aber nicht etwa ein Leiter durch Ueberziehen mit einem Nichtleiter zu einem Nichtleiter.

Die Intensität der Elektricität ist die freie Menge derselben auf der Oberflächeneinheit. Man mißt sie durch momentanes Aufle-

gen einer kleinen isolirten leitenden Scheibe an der fraglichen Stelle der Oberfläche und Beobachtung der von dieser Scheibe bewirkten Abstoßung an einem Elektrometer.

Da kein Nichtleiter die Verbreitung der El. absolut hindert, so verliert ein el. Körper fortwährend an seiner Intensität um so mehr, je größer diese ist; namentlich findet ein solcher Verlust durch die Luft statt. Dieses muß bei Messungen berücksichtigt werden.

Nur auf isolirten Kugeln ist die freie El. im Gleichgewichtszustande gleichförmig verbreitet; auf einem Elipsoid z. B. verhalten sich an den Enden der Axen die Intensitäten wie die Größe dieser Axen; auf zwei in Berührung stehenden Kugeln ist die Intensität an der Berührungsstelle = 0, und erreicht an den davon entferntesten Punkten ein Maximum. Deshalb häuft sich die freie El. an Spitzen und Kanten vorzugsweise an, und ihr Verlust wird hier am größten, sie strömt in die Luft aus, weshalb man an Leitern, auf denen freie El. angehäuft werden soll, Spitzen und scharfe Kanten vermeidet.

Kap. 8. Von den Elektrisirmaschinen und den Wirkungen der ausströmenden Elektricität auf unsere Sinne.

Die Elektrisirmaschinen haben zum Zweck, Elektricität von größerer Intensität mit Bequemlichkeit zu erregen. Man reibt daher gewöhnlich einen Nichtleiter, den Reiber, durch Drehung um eine Axe an einem feststehenden andern Körper, dem Reibzeuge. Der Reiber besteht meist aus Glas, entweder in Form eines Cylinders oder einer kreisförmigen Scheibe, wonach man die Cylinder- und die Scheibenmaschinen unterscheidet. Zum Reibzeug nimmt man mit Leder überzogene Kissen, auf die Zinkamalgam vermittelst wenigen Fettes aufgetragen, und welche mit Federn, bei den Scheiben von beiden Seiten, an den Reiber angedrückt werden. Um auch die negative El. erhalten zu können, muß das Reibzeug zum Isoliren eingerichtet sein.

Da man von dem Reiber immer nur geringe Elektricitätsmengen wegnehmen kann, nähert man ihm einen größeren isolirten Leiter, den sogenannten Conductor. Die dem Reiber genäherten Theile desselben heißen der Sauger. Um das Zurückgehen der El. von dem Conductor zum Reibzeuge zu verhindern, müssen dieses und die Sauger möglichst entfernt von einander stehen. Um den Verlust auf dem

Wege des Reibers vom Reibzeuge bis zu dem Sauger zu verhindern, bedeckt man hier den Reiber mit Lappen von Seide oder Wachstaffet.

Der Conductor wird mit einem Elektroskope versehen.

Verbindet man Reibzeug und Conductor leitend, so erhält man keine Spur von freier Elektricität.

Der isolirte, geladene Conductor zeigt:

ein Ausströmen aus Spitzen, dabei ein Geräusch, einen eigenthümlichen Geruch (Ozon), und das Gefühl einer Luftströmung, so wie im Dunkeln einen Lichtbüschel. Wenn die El. aus einem Körper an einer Stelle ausströmt, so wird sein Gleichgewicht gestört; Franklins Rad.

an einen genäherten Leiter einen Uebergang der El. mittelst eines Funkens, der sichtbar und hörbar ist, auch beim Aufspringen auf einen Theil unseres Körpers einen Stich oder eine Erschütterung hervorbringt.

Dieser Funke vermag leicht entzündliche Körper zu entzünden.

Im luftverdünnten Raume werden die Funken länger und schwächer, und gehen bei mehrerer Verdünnung in ein fortwährendes, unbestimmt begrenztes Leuchten über.

Die Schlagweite ist die größte Entfernung, auf welche der Funke überspringt. Sie hängt von der Intensität der El., folglich auch von der Form der Oberflächen, zwischen welchen der Uebergang stattfindet, ab; — wogegen die Wirkung des Funkens von der Menge der mit ihm übergehenden El., also auch von der Größe des Conductors, bestimmt wird.

Kap. 9. Von der elektrischen Influenz.

Nähert man einem isolirten Leiter einen elektrischen Körper, jedoch nur so weit, daß noch keine freie El. übergeht, — so wirkt letzterer auf die in ersterem verbundenen Elektricitäten, zieht die ungleichnamige an und stößt die gleichnamige ab, so daß das zugewendete Ende des Leiters ungleichnamig, sein abgewendetes Ende gleichnamig elektrisch wird, wovon man sich leicht überzeugt, wenn der Leiter, ohne ihn ableitend zu berühren, während der Nähe des elektrischen Körpers in zwei Hälften getrennt werden kann, man aber nach der Trennung den elektrischen Körper entfernt.

Diese Einwirkung eines elektrischen Körpers auf die natürlich vereinigten elektrischen Fluida eines andern Körpers nennt man Vertheilung, vertheilende Wirkung oder Influenz.

Entfernt man den ursprünglich elektrischen Körper von dem Leiter, so vereinigen sich die getrennt gewesenen Elektricitäten wieder zu dem unelektrischen Zustande.

Berührt man den Leiter während der Nähe des elektrischen Körpers ableitend, so nimmt man gleichnamige El. von ihm weg; hebt man dann die Ableitung wieder auf und entfernt den ursprünglich elektrischen Körper, so findet man den Leiter ungleichnamig geladen.

Die ungleichnamige El. während der Nähe des influirenden Körpers abzuleiten, kann niemals möglich sein, sie wird festgehalten, gebunden; man kann daher durch Influenz nur ungleichnamig laden.

Nimmt man die El. von dem influirenden Leiter plötzlich durch Ableitung hinweg, so vereinigen sich eben so schnell die getrennt gewesenen El. des influirten Leiters, welche plötzliche Vereinigung beider El. der Rückschlag genannt wird, und in manchen Fällen Wirkungen ausübt, die schon zu denen der bewegten El. oder des elektrischen Stromes gehören.

Läßt man einen elektrischen Körper längere Zeit in der Nähe eines isolirten Leiters, so findet man diesen nach Hinwegnahme des ersteren ungleichnamig geladen, weil er mit der Zeit frei gemachte gleichnamige El. durch die Luft verliert.

Wenn ein Pendelelektroskop geladen ist, und man nähert ihm einen elektr. Körper von der den Pendeln entgegengesetzten Seite, so vermehrt sich die Divergenz bei gleichnamiger, vermindert sich bei ungleichnamiger El. des genäherten Körpers.

Jedem Uebergange der El. aus einem Körper in einen andern geht eine Vertheilung und eine Anhäufung der beiden entgegengesetzten El. in den genäherten Theilen voraus, so daß jeder solcher Uebergang in der Hauptsache eine Vereinigung beider El. ist.

Deshalb entziehen Spitzen, vornehmlich auch Flammen, einem Leiter seine El. aus größerer Entfernung als abgerundete Oberflächen von großem Krümmungshalbmesser. —

Die Grundphänomene der elektrischen Anziehung und Abstoßung erklären sich aus der ungleichen Vertheilung der Intensität an der Oberfläche einander genäherter, elektrisirter Körper, wobei der Luftdruck nach entgegengesetzten Seiten hin um verschiedene Größen vermindert wird. Die im luftverdünnten Raume beobachteten Wirkungen beweisen nichts gegen diese Ansicht, weil die zu Hervorbringung schwacher elektrischer Abstoßung erforderliche Luftdrucksdifferenz ungemein gering ist.

Kap. 10. Von der Verstärkungsflasche, dem Condensator und dem Elektrophor.

Von zwei parallelen, durch einen Nichtleiter getrennten leitenden Oberflächen, A und B, sei A isolirt und stehe mit einer constanten Elektricitätsquelle in Verbindung, welche ihr freie El. bis zu der Spannung $\pm$ e mitzutheilen vermag, und B stehe in leitender Verbindung mit dem Erdboden. Die El. in A wird die entgegengesetzte in B anhäufen, während die gleichnamige in den Boden abfließt; die in B angehäufte wird die in A befindliche durch ihre Anziehung binden, ihr ihre Tendenz, nach der Quelle zurückzugehen, zum größten Theile nehmen, und es wird von dieser noch mehr nach A getrieben werden, die wieder eine neue Vertheilung in B bewirkt, dadurch selbst aber wieder gebunden wird. Weil aber eine gegebene Menge auf A in B eine etwas kleinere Menge wegen der Entfernung beider Flächen zu binden vermag, so bleibt auf A ein gewisser Theil frei, und wenn dieser freie Theil die Spannung $\pm$ e erlangt hat, so vermag die Quelle weiter keine El. nach A zu treiben, der Apparat ist bis zum Maximum geladen. — Es sei das Verhältniß der gebundenen El. zur bindenden = n, die Intensität auf der Fläche A = $\pm$ E, die Größe jeder Fläche = s, so ist die auf A angehäufte Menge = $\pm$ sE, daher die auf B angehäufte und vollständig gebundene Menge = $\mp$ nsE, und die von dieser auf A gebundene = $\pm$ n^2sE, folglich die auf A freie Menge = $\pm$ (1 — n^2) sE, und wir haben nach obiger Voraussetzung, daß die freie Spannung auf A höchstens $\pm$ e betragen könne

$$\pm\, se = \pm\,(1 - n^2)\, sE$$

$$\text{also } sE = \frac{e}{1 - n^2}\, s.$$

Ist die Entfernung der beiden Flächen gering, so kann sich n der Einheit sehr nähern, und es wird dann E viel größer als e sein, d. h. man wird durch eine solche Vorrichtung eine große Menge der beiden entgegengesetzten El. auf den beiden Flächen anhäufen können.

Hierauf beruht die Theorie der Verstärkungsflasche und des Condensators, die sich jedoch hinsichtlich ihres Zweckes und deshalb auch ihrer Einrichtung sehr von einander unterscheiden.

Die Verstärkungs- (Leidner, Kleistsche) Flasche, eben so die zuweilen an ihre Stelle tretende Verstärkungstafel, hat zum Zweck, entgegengesetzte El. von an sich großer Intensität in möglichst großer Menge anzuhäufen, um durch die Wiedervereinigung

derselben große Wirkungen hervorzubringen. Deshalb müssen die beiden leitenden Oberflächen durch einen guten Nichtleiter, Glas, getrennt werden, und dieser darf nicht zu dünn sein, weil außerdem die beiden entgegengesetzten El. den Widerstand, den der trennende Nichtleiter ihrer Vereinigung entgegensetzt, überwinden, und diesen gewaltsam durchbrechen würden. Die beste Form ist ein Glasgefäß von möglichst gleichförmiger Wanddicke, das man auswendig und inwendig mit Staniol belegt, dabei den Rand mit angemessener Breite unbedeckt lassend. Das innere Belege muß in leitende Verbindung mit einem Knopfe gebracht werden, um dazu gelangen zu können.

Die gewöhnliche Art zu laden besteht darin, daß man das innere Belege mit der Elektricitätsquelle (dem Conductor einer Maschine), das äußere Belege mit dem Erdboden in Verbindung setzt.

Eine so geladene und isolirte Flasche giebt durch Berührung des äußern Beleges nichts, durch Berührung des innern Beleges die der Spannung $e = (1 - n^2) E$ entsprechende Menge ab; — darauf ist innen die ganze noch vorhandene Menge $n^2 sE$ gebunden, aber außen $n (1 - n^2) sE$ frei, und kann weggenommen werden; — dann wird innen $n^2 (1 - n^2) sE$ frei u. s. w.

Eine isolirte Flasche ladet sich nicht; für jeden Funken, den man auf das innere Belege übergehen läßt, kann man einen gleichnamigen Funken aus dem äußern erhalten.

Wenn man das innere Belege der ersten von mehreren gleichgroßen, isolirten Flaschen mit dem Conductor der Maschine, das äußere Belege derselben mit dem innern der zweiten, das äußere Belege dieser mit dem innern der dritten u. s. w., endlich das äußere Belege der letzten mit dem Erdboden in Verbindung setzt, so laden sich alle diese Flaschen gleichzeitig, die Ladung der einzelnen Flaschen nimmt aber von jeder zur folgenden in dem Verhältnisse von n ab.

Zwei entgegengesetzt geladene Flaschen, deren äußere Belege in Verbindung stehen, ziehen mit ihren Knöpfen einen dazwischen gebrachten, isolirten, beweglichen Leiter abwechselnd an und entladen sich dadurch allmälig.

Verbindet man das äußere und innere Belege einer geladenen Flasche, so vereinigen sich die beiden El. Die Wirkung dieser Entladung entspricht der Menge der dadurch sich vereinigenden El. Deshalb ist der dabei erhaltene Funke heller, stärker knallend, beim Durchleiten durch unseren Körper erschütternder, als der des Conductors. Seine Schlagweite wird von der freien Spannung bestimmt.

Um ihm eine bestimmte Größe und Stärke zu geben, läßt man ihn mittelst der Lane'schen Entladungsflasche, des Funkenmessers, auf eine bestimmte Entfernung überschlagen.

Um bei gegebener Spannung die Wirkung zu vermehren, vergrößert man die Oberfläche der Belege, vereinigt man mehrere Flaschen durch Verbindung ihrer innern und äußern Belege zu einer elektrischen Batterie.

Geht der Entladungsschlag durch einen Nichtleiter als Funke, so treibt er die Theile auf seinem Wege aus einander, und durchbohrt z. B. Glas, Papier. — Geht er durch eine in einer Glasröhre eingeschlossene Flüssigkeit, die auch, wenn der Schlag stark genug ist, Wasser sein kann, so zertrümmert er die Röhre, woraus erhellt, daß Wasser weit schlechter leitet als Metall.

Leiter werden durch den Entladungsschlag erwärmt, die Erwärmung, deren vollständige Gesetze sehr genau durch Rieß erforscht worden sind, wächst mit der Abnahme des Leitungsvermögens, und daher mit der des Querschnittes, so daß dünne Metallblättchen oder Drähte geschmolzen, verflüchtigt, oxydirt werden.

Menschen und Thiere erleiden durch den Entladungsschlag Erschütterungen, die bei hinlänglicher Stärke Betäubung und den Tod hervorbringen können.

Schaltet man in den entladenden Leiter ein Stück unvollkommnerer Leitung, z. B. einen nassen Faden, ein, so wird der Funke zischend und röthlich, die Zeit der Entladung wird vermehrt, und ein solcher Funke entzündet Schießpulver, durch welches man ihn führt, wogegen dasselbe nur umhergeworfen wird, wenn der Funke hell und knallend ist. — Andere explodirende Pulver, wie z. B. ein Gemenge aus 3 Theilen chlorsaurem Kali und 2 Theilen Schwefelantimon, werden auch durch den kräftigen, nicht verzögerten Funken entzündet, was zum völlig gleichzeitigen Wegthun mehrerer Bohrlöcher benutzt worden ist.

Entladet man eine Flasche durch Näherung eines Entladers bis auf Schlagweite, so enthält sie immer noch eine geringe Ladung, den Rückstand, und man bekommt bei weiterer Näherung einen zweiten, bei noch weiterer auch wohl einen dritten, allerdings viel schwächeren Funken.

Die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der El. in einem Leiter ist so groß, daß frühere Versuche, sie zu messen, die Fortpflanzungszeit verschwindend klein erscheinen ließen. Durch Beobachtung der

an verschiedenen Stellen eines sehr langen Leiters überspringenden Funken in einem schnell rotirenden Spiegel bestimmte Wheatstone die Geschwindigkeit der Fortpflanzung der El. in einem Kupferdrahte von $\frac{1}{15}$ Zoll Durchmesser zu 63000 geographischen Meilen.

Die Zeitdauer eines Funkens ist sehr klein, so daß z. B. eine schnell rotirende, mit verschiedenfarbigen Sectoren bemalte Scheibe beim Erleuchten durch den electr. Funken stillstehend erscheint. Wheatstone fand durch das oben angedeutete Mittel die Zeitdauer eines hellen Funkens 0,000042 Sekunden. Dieselbe wird, wie vorher bemerkt, durch Einschaltung eines unvollkommenen Leiters vergrößert, und W. Weber fand sie mit

2	m.	nasser	Schnur	0,0851	Sekunden.
1	=	=	=	0,0345	=
0,5	=	=	=	0,0187	=
0,25	=	=	=	0,0095	=

Der Condensator hat den Zweck, sehr schwache aber in hinlänglicher Menge vorhandene El. auf einen kleinen Raum zu verdichten, um durch die erlangte größere Intensität die Existenz und Art der El. nachweisen zu können. Er besteht in zwei gut auf einander geschliffenen, durch einen dünnen Nichtleiter, gewöhnlich Schellacküberzug, getrennten Metallplatten, von denen die eine mit einem Elektroskop in Verbindung steht, die andere aufgesetzt und weggenommen werden kann. Verbindet man die eine Platte leitend mit der zu prüfenden Elektricitätsquelle, die andere mit dem Erdboden, so ladet sich der Condensator, — und nimmt man nach Wiederherstellung der Isolirung die zweite Platte hinweg, so wird die auf der ersten angehäufte El. frei, und giebt sich durch das mit ihr verbundene Electroskop zu erkennen.

Das Elektrophor dient als Elektrisirmaschine und besteht aus einem metallenen oder mit metallischem Ueberzuge bekleideten Teller, auf welchem ein Nichtleiter mit glatter Oberfläche, gewöhnlich ein Harzkuchen, ausgebreitet ist, und dem etwas kleineren, isolirt wegzunehmenden, leitenden Deckel, der sich dicht auf den Kuchen aufsetzen lassen, dabei aber von dem Teller entfernt bleiben muß. Durch Schlagen oder Reiben des Nichtleiters mit einem geeigneten Körper, während der Teller leitend mit dem Erdboden in Verbindung steht, wird El.

entwickelt, die in dem Teller die entgegengesetzte bindet, und von dieser zum Theil gebunden wird. Setzt man den Deckel auf, so wird die mit der auf dem Nichtleiter angehäuften gleichnamige El. abgestoßen und durch Berührung weggenommen, so daß beim isolirten Aufheben des Deckels in demselben die ungleichnamige mit freier Spannung, und zwar durch Wiederholung so oft man will, erhalten wird, indem der Nichtleiter, wenn er glatte Oberfläche besitzt, nichts durch Mittheilung dabei verliert.

Die vertheilende Wirkung benutzt man auch, den Pendelelektroskopen eine größere Empfindlichkeit zu geben, indem man den Pendeln gegenüber nicht isolirte Metallstreifen anbringt.

Kap. 11. Von dem verschiedenen Verhalten der beiden Elektricitäten.

Die geringe Anzahl von Erscheinungen, die verschieden sind, je nachdem von einem mit derselben Intensität geladenen Leiter die positive oder die negative El. ausgeht, erklären sich aus der Annahme, daß die atmosphärische Luft der Ausbreitung der negativen El. einen größeren Widerstand entgegensetzt, als der der positiven.

Wenn man den Entladungsschlag einer Flasche zwischen zwei Metallspitzen durch ein Kartenblatt gehen läßt, so daß die Spitzen einander nicht gegenüber stehen, so wird das Kartenblatt in den meisten Fällen an einer Stelle durchbohrt, die derjenigen Spitze näher liegt, von welcher die negative El. kommt.

Aus Spitzen und kleinen Kugeln ausströmende, im Dunkeln leuchtende Büschel sind bei positiver El. größer, bei negativer kleiner und heller.

Eine Flamme, durch welche man einen Entladungsschlag gehen läßt, wird meist von dem Leiter hinweggetrieben, von welchem die positive El. ausgeht. Bei einigen Flammen, z. B. der des Phosphors, soll es aber umgekehrt sein, was dahin deutet, daß verschiedene elastische Flüssigkeiten sich verschieden verhalten, einige dem Durchgang der positiven, andere dem der negativen El. mehr Widerstand entgegensetzen.

Am augenscheinlichsten zeigt sich das verschiedene Verhalten beider Elektricitäten an den Lichtenbergischen Figuren. Läßt man Elektricität auf einen Nichtleiter ausströmen, so verbreitet sie sich von

dem Berührungspunkte aus auf der Oberfläche des Nichtleiters nach allen Seiten hin bis auf eine nach den Umständen verschiedene Entfernung. Streut man dann ein feines Pulver auf, so wird dieses an den elektrisch gewordenen Stellen festgehalten und läßt die Art und Größe der Ausbreitung der El. erkennen. Die dadurch erhaltenen Figuren sind aber wesentlich verschieden bei positiver und negativer El. Bei ersterer zeigen sie Sterne mit gebogenen, vielfach verästelten Strahlen, bei letzterer wolkige, ziemlich bestimmt begrenzte Figuren. Man hat diese Staubfiguren benutzt, um zu zeigen, daß isolirende Krystalle der Ausbreitung der El. einen verschiedenen Widerstand nach Richtungen entgegensetzen, die einen verschiedenen krystallographischen Werth haben.

Kap. 12. Von der atmosphärischen Elektricität.

Der Blitz verhält sich in seinen Erscheinungen und seinen Wirkungen ganz wie ein elektrischer Funke. Franklin bewies, daß die Wolken elektrisch seien, indem er isolirte Leiter hoch in die Luft hinauf errichtete, und an ihrem untern Ende die El. der darüber hinwegziehenden Wolken beobachtete. Diese El. kann dem Leiter durch Mittheilung oder Vertheilung beigebracht sein, in jedem Falle ist sie am untern Ende desselben gleichnamig mit der der Wolke selbst. — Sie ist meist positiv, doch auch nicht selten negativ. — Bei solchen Versuchen muß man sich durch eine nach dem feuchten Erdboden führende, dem isolirten Leiter hinlänglich genäherte, gute Ableitung vor Gefahr schützen.

Bei einem nahen Gewitter beobachtet man an einem solchen Leiter die Spannung der El. schnell steigend, bis ein Blitzstrahl erscheint, worauf sie verschwindet, um dann mehr oder weniger schnell wieder zu wachsen. Häufig, wie besonders bei dem sogenannten Aprilwetter, sind die Wolken stark elektrisch, aber es kommt zu keiner Entladung.

Diese Erscheinungen zeigen, daß die entstehenden Wolken sich elektrisch laden, und wie geladene Conductoren wirken. Ursprünglich dürfte diese Ladung immer positiv sein, es ist aber leicht erklärlich, daß durch Vertheilung schon bestehende Wolken negativ elektrisch werden können. — Geschieht die Elektricitätsentwickelung mit mäßiger Schnelligkeit, so wird der fortwährende Verlust an die umgebende Luft die entstehende Spannung auf einem geringeren Grad halten, der nicht hinreicht, einen Funken von der Stärke eines Blitzes zu erzeugen. Bei einem Gewitter aber entwickelt sich die El. in kurzer Zeit

in so großer Menge, daß der Verlust den Gewinn nicht ausgleicht, und daher die Intensität wächst, bis sie einen Blitz hervorzubringen vermag. Durch denselben ist die Wolke für den Augenblick entladen.

Der Vorgang erklärt sich durch die Annahme, daß bei der in der Luft statt findenden Condensation von Wasserdämpfen positive El. frei wird, denn wirklich entstehen nur Gewitter, wenn diese Condensation sehr intensiv erfolgt, daher seltner bei niederer Temperatur, im Frühsommer häufiger als im Herbst.

Man hat sich deshalb, jedoch vergeblich, bemüht, durch das Experiment direct nachzuweisen, daß bei der Condensation von Wasserdämpfen, oder umgekehrt bei der Verdampfung von Wasser Elektricität entwickelt werde; — denn die Spuren von El., die man bei der Verdampfung von Wasser in isolirten glühenden Tiegeln, — und eben so die größere Menge stark gespannter El., die man beim Ausströmen von Hochdruckdämpfen erhält, sind nur Folgen der Reibung von Wassertröpfchen an den Gefäßwänden.

Bei einem heranziehenden Gewitter weht die Luft in der Regel von der Wolke her, indem diese ihre Entstehung einer herabstürzenden, kalten Luftmasse zu danken hat, die an der Erdoberfläche sich nach allen Seiten hin ausbreitet. Häufig ist auch eine wirbelnde Bewegung der Luft die Ursache einer Verdünnung im Mittelpunkte des Wirbels und eines Nachdringens von oben.

Häufig wird es nach einem Gewitter kalt, die Kälte ist jedoch nicht die Wirkung sondern die Ursache des Gewitters, nur daß ihre Wahrnehmung später bei uns erfolgt, als die des von ihr hervorgebrachten Gewitters.

Nach einem Blitzschlage in der Nähe des Zeniths fällt gewöhnlich stärkerer Regen, dieser ist aber nicht die Wirkung des Blitzes, sondern der Blitz ist die Folge der beschleunigten Wassercondensation.

Der Hagel ist, wenn er in etwas größeren Eiskörnern besteht, immer von einem Gewitter begleitet, weil zu seiner Entstehung eine Mischung von Luftmassen sehr verschiedener Temperatur erforderlich ist, dadurch aber die Bedingungen zur Gewitterbildung ebenfalls gegeben sind.

Das Ziel des Blitzes ist eine andere Wolke oder die Erdoberfläche: vor dem Ueberschlagen ist in der gegenüberliegenden Oberfläche die entgegengesetzte El. durch Influenz hervorgerufen; dieselbe verschwindet mit der Explosion plötzlich, was den Rückschlag verursacht.

Der Weg nach der Erdoberfläche wird durch die bessere Leitung und die geringste Länge bestimmt, welche Bedingungen sich aber oft widersprechen. Wenn jedoch eine vollkommen gute Leitung von den hervorragendsten Punkten ununterbrochen bis in den feuchten Erdboden führt, so kann man darauf rechnen, daß der Blitz nur dieser folgt. Darauf gründen sich die Blitzableiter. Sie müssen daher gute Leiter von hinlänglichem Querschnitte (¼ Quadratzoll Eisen) sein, über alle höchsten Punkte des Gebäudes hinweggehen, und mit dem feuchten Erdboden in ununterbrochener Verbindung stehen, auch hier sich gehörig ausbreiten. Die gewöhnlichen Auffangstangen scheinen ohne Nutzen.

Nichtleiter, durch welche der Blitz geht, werden durchbohrt, zertrümmert; unvollkommene Leiter, wie Holz, aus einander geworfen; gute Leiter von zu geringem Querschnitte geschmolzen, verflüchtigt. Brennbare Körper werden in einigen Fällen entzündet, in anderen nicht. Ist die äußerste getroffene Erdoberfläche trocken, so dringt der Blitz durch dieselbe bis zu den besser leitenden Schichten, und kann auf diesem Wege Quarzsand zu Blitzröhren schmelzen. — Vom Blitz getroffene Menschen und Thiere werden betäubt, gelähmt, getödtet; dabei aber gewöhnlich nur äußerlich und leicht verwundet.

Die Gestalt des auf größere Entfernungen durch die Luft fahrenden Blitzstrahles erscheint zackig, eine Folge der Compression und daher des größeren Widerstandes der Luft.

Der Blitz wird von dem Donner begleitet. Es besteht dieser bei sehr nahen Schlägen nur in einer Explosion; bei entfernteren, weit durch die Luft gehenden Blitzstrahlen zeigt er das ihm eigenthümliche Rollen, bewirkt durch die verschiedenen Entfernungen, aus denen der Schall zu uns gelangt, durch die abwechselnd größere und geringere Compression der Luft und durch das Echo.

Auch bei völlig heiterem Himmel erhält man im Freien, entfernt von Gebäuden, Bäumen oder anderen hervorragenden Gegenständen, am unteren Ende einer isolirten Auffangstange Zeichen von positiver El. Versieht man das obere Ende der Stange mit glimmendem Feuerschwamm oder einem brennenden Lichte, so wird die El. beträchtlich vermehrt. Es ergiebt sich, daß bei heiterem Himmel die oberen Schichten der Atmosphäre immer positiv gegen die unteren, also diese negativ gegen jene sind. Diese Luftelektricität ist stärker im Winter als im Sommer, an kalten als an warmen Tagen, nach vorherge-

gangenem feuchten als nach mehrtägigem trocknen Wetter. Sie erreicht im Durchschnitt ein Maximum in den Vormittagsstunden und einige Stunden nach Sonnenuntergang, ein Minimum vor Sonnenaufgang und Nachmittags.

Zuweilen ist die Luftelektricität so groß, daß im Dunkeln alle hervorragenden Gegenstände ein phosphorescirendes Licht ausströmen.

Das Polarlicht ist zweifelsohne Elektricität, in den höheren und daher stark verdünnten Theilen der Atmosphäre entwickelt.

Kap. 13. Thermoelektricität von Krystallen.

Hemimorph krystallisirte Substanzen, ganz besonders der Turmalin, zeigen bei der Erwärmung, oder überhaupt bei einer Temperaturänderung freie El., und zwar an beiden Enden der Axe, an welchen die Hemimorphie auftritt, die beiden entgegengesetzten El., so daß eine Polarität entsteht ähnlich wie bei einem Magnete.

Der Pol, welcher bei steigender Temperatur positiv elektrisch wird, ist bei sinkender negativ, und umgekehrt. Gewöhnlich beobachtet man bei abnehmender Temperatur.

Die El. eines thermoelektrischen Krystalls geht nicht an andere Körper über, sondern wirkt nur durch Vertheilung.

Völlig undurchsichtige schwarze Turmaline (Schörl), die im Innern keine krystallinische Structur wahrnehmen lassen, zeigen auch keine Thermoelektricität.

Kap. 14. Elektricitätserregung durch Druck, Zerbrechen, Zerreißen. Phosphorescenz.

Zwei heterogene Körper werden durch den Druck entgegengesetzt elektrisch; wenigstens einer davon muß ein Nichtleiter sein, um die übrigens sehr schwache Elektricitätserregung wahrnehmen zu können. Diese Erregungsart scheint mit der Reibung nicht identisch, weil in manchen Fällen dieselben Körper beim Druck die entgegengesetzte El. von derjenigen annehmen, die ihnen die Reibung ertheilt. Mit der Stärke des Druckes und der Geschwindigkeit der Trennung wächst die erregte Spannung. Kalkspath zeigt die Erscheinung mit am auffallendsten.

Beim Zerbrechen, Zerreißen, Spalten eines Nichtleiters zeigen die Bruch- oder Spaltungsflächen entgegengesetzte elektrische Spannung.

Die Phosphorescenz, d. h. die Lichtentwickelung in niederen, die Glühhitze bei weitem nicht erreichenden Temperaturen, wird von vielen Physikern der Entwickelung elektrischen Lichtes zugeschrieben. Abgesehen von denjenigen Fällen, in denen die Phosphorescenz von einer Oxydation begleitet ist, gehören hieher das Leuchten mancher Substanzen, wie des Diamants, Flußspathes, Schwefelcalciums u. a. bei geringer Erwärmung, — und die Phosphorescenz beim Reiben verschiedener Körper z. B. des Quarzes, des Flußspathes, der Blende u. m. a. Es ist jedoch dabei Elektricitätsentwicklung nicht wirklich nachgewiesen worden, und die Erscheinung zeigt sich unter Wasser so gut als in der Luft.

Kap. 15. Elektricitätserregung durch Berührung heterogener Leiter. Contactelektricität.

Zwei heterogene Leiter werden entgegengesetzt elektrisch, wenn sie sich berühren. Die experimentellen Beweise dafür bilden den Volta-schen Fundamentalversuch.

Die auf den Leitern während des Contactes frei werdenden Electricitäten haben äußerst geringe Spannung, und sind daher nur mit den empfindlichsten Mitteln nachzuweisen. Größer ist ihre Intensität an den Berührungsflächen, und es ist daher leicht, einen Condensator zu laden, wenn man zwei verschiedenartige Metallplatten abwechselnd mit einander und nach der Trennung mit den beiden Platten des Condensators in Berührung bringt.

Bei denselben Leitern (und unveränderter Temperatur) hat die elektromotorische Kraft ihres Contactes eine bestimmte Größe, und erzeugt daher auf beiden, wenn sie isolirt sind, bestimmte Spannung, $+$ d und $-$ d, so daß die Größe dieser elektromotorischen Kraft durch die Differenz der Spannungen $= 2$ d gemessen wird.

Der wesentliche Charakter dieser Contactelektricität ist ihre geringe Spannung und unmeßbare Geschwindigkeit ihrer Erregung. Letztere bewirkt, daß die beiden Leiter, auch wenn man sie ableitend berührt, ihre constante elektrische Differenz $= 2$ d behalten. Berührt man nur einen der Leiter ableitend, so nimmt der andere sogleich die Spannung ± 2 d an. Setzt man den einen Leiter mit einer constanten Elektricitätsquelle in Verbindung, welche ihm die Spannung $\pm$ e giebt, so wird der andere $\pm$ e $\pm$ 2 d.

Die Größe der constanten Spannungsdifferenz zweier sich berührender Leiter hängt von der materiellen Beschaffenheit der letzteren ab,

und sämmtliche feste Leiter mit Einschluß des Quecksilbers, denen man in dieser Beziehung den Namen Elektromotore oder Leiter erster Classe gegeben hat, bilden eine Reihe, die galvanische Spannungsreihe, von welcher je zwei Glieder nicht allein um so größere Spannungsdifferenz zeigen, je weiter sie von einander abstehen, sondern in welcher auch die Spannungsdifferenz zweier Glieder gleich ist der Summe der Spannungsdifferenzen aller dazwischen liegenden Paare benachbarter Glieder.

Die wichtigsten hieher gehörigen Substanzen bilden folgende Reihe, in welcher jede im Contact mit einer folgenden positiv, mit einer vorhergehenden negativ wird:

Kalium	Silber
Zink	Platin
Blei	Gold
Zinn	Kohle
Eisen	Kiese und Glanze
Kupfer	Mangansuperoxyd.

Stehen mehrere Glieder dieser Reihe hinter einander im Contact, so ist die Spannungsdifferenz der beiden äußersten dieselbe, als wenn sie in unmittelbarer Berührung ständen. Daher kann durch keine Combination verschiedener Elektromotore die Spannungsdifferenz größer werden, als sie durch Berührung zweier Glieder davon wird, die den größten Abstand in der Reihe haben. — Deshalb ist bei Anstellung des Voltaschen Fundamentalversuches die Substanz des Condensators von Einfluß.

Andere Leiter, besonders das Wasser, die wasserhaltigen Substanzen, geschmolzene Salze und andere Flüssigkeiten unterscheiden sich von den Leitern erster Classe dadurch, daß sie nicht in die galvanische Spannungsreihe gehören, sondern, wie wir hier vorläufig annehmen können, durch den Contact mit jenen keine Elektricität erregen, indem die dabei erscheinende Elektricitätserregung sich durch die vermöge der chemischen Einwirkung veränderte Oberfläche des Leiters erster Classe erklärt. Sie heißen Elektroconductoren, Leiter zweiter Classe, auch feuchte Leiter.

Bringt man einen Leiter zweiter Classe mit einem Leiter erster Classe in Berührung, so nimmt letzterer den elektrischen Zustand des ersteren an; deshalb kann man den Voltaschen Fundamentalversuch mit Condensatorplatten von beliebigem Metalle anstellen, wenn man ein feuchtes Papier einschaltet.

Darauf gründete aber Volta auch seine große Entdeckung der Voltaschen Säule, indem durch zweckmäßige Combination von zweierlei Metallplatten mit feuchten Leitern möglich wird, die durch den Contact erregte Elektricität zu einer größeren Spannung zu bringen. Steht z. B. eine Kupferplatte mit dem Erdboden in Verbindung, so daß sie 0e ist und bleibt, und man legt eine Zinkplatte darauf, so nimmt diese eine Spannung an, welche mit + 2d bezeichnet werde; ein darauf gelegter feuchter Leiter wird auch dieselbe Spannung, und eine nun folgende zweite Kupferplatte ebenfalls + 2d annehmen; aber eine ferner folgende zweite Zinkplatte wird + 4d werden, und eben so die darauf gelegte feuchte Scheibe und dann folgende dritte Kupferplatte; aber die ferner aufgelegte dritte Zinkplatte nimmt die Spannung + 6d an, so daß, wenn man n Kupferzinkpaare oder Kupferzinkelemente mit dazwischen gebrachten feuchten Leitern aufbaut, das letzte Zink + 2nd erhält.

Wird bei einer solchen isolirten Säule das letzte Zink ableitend berührt, so wird das erste Kupfer — 2nd; — ist die ganze Säule isolirt, so wird die erste Kupferplatte — nd, die letzte Zinkplatte + nd, so daß also die Spannungsdifferenz zwischen beiden 2nd ist, und sich mit großer Geschwindigkeit wieder erzeugt, wenn man sie durch Ableitung vermindert.

Die Größe von d hängt von der Substanz der Elektromotore, nicht von ihrer Größe und nicht von der Beschaffenheit des feuchten Leiters ab, in so fern dieser die Oberfläche der Elektromotoren nicht chemisch verändert.

Die beiden Endglieder einer Säule nennt man ihre Pole, von denen der eine positiv, der andere negativ ist.

Durch Säulen von einer hinlänglichen Anzahl von Elementen kann man an ihren Polen sehr deutliche elektrische Spannungen erhalten, so daß sie Funken geben, und alle Eigenschaften eines durch Reibung elektrisirten Körpers zeigen, jedoch immer nur mit verhältnißmäßig geringer Intensität. Unter anderem kann man durch eine ganz kurze Zeit dauernde Berührung eines Poles, während der andere ableitend berührt ist, Flaschen, wenn auch schwach, laden, was die große Geschwindigkeit beweist, mit welcher die Elektricität sich erzeugt.

Diese elektroskopischen oder elektrostatischen Wirkungen der Säule haben wegen der immer geringen Spannung wenig Anwendung, doch gründet sich darauf der Gebrauch der trocknen oder Zambonischen Säule zu Herstellung des sogenannten elektrischen perpetuum

mobile, und zu dem Bohnenbergerschen Elektroskop. Man stellt diese Säulen unter anderm her aus einer großen Anzahl von Scheiben von unächtem Silberpapier, die mit einer Lage Mangansuperoxyd überzogen sind. Sie zeichnen sich durch ihre langdauernde Wirksamkeit aus, wogegen andere Säulen aus später sich ergebenden Gründen sehr bald dieselbe verlieren.

Dritter Abschnitt.

Elektrodynamik,

oder von den elektrischen Strömen.

Kap. 16. Von den elektrischen Strömen im Allgemeinen.

Ein elektrischer Strom wird gebildet durch die Vereinigung der beiden entgegengesetzten Elektricitäten.

Wenn die durch eine ununterbrochen thätige Elektricitätsquelle getrennten Elektricitäten sich fortwährend in einem Leiter wieder vereinigen, so entsteht ein continuirlicher elektrischer Strom.

Als Richtung des Stromes nimmt man diejenige an, in welcher die positive Elektricität sich fortbewegt.

Die Stärke des Stromes ist proportional der Menge der in der Zeiteinheit durch einen Querschnitt des Leiters, welcher ihm zur Fortbewegung dient, strömenden Elektricität. In einem geschlossenen Leiter ist die Stromstärke in allen Querschnitten gleich. — Von der Stromstärke hängt die Wirkung des Stromes ab.

Einige Wirkungen sind jedoch auch von der Intensität des Stromes d. h. der Menge der in der Zeiteinheit durch die Querschnittseinheit der Kette strömenden Elektricität, und bei discontinuirlichen Strömen von der Zeitdauer jedes einzelnen Stromtheiles abhängig.

Da die Stromstärke mit der Menge von Elektricität wächst, welche die Quelle in der Zeiteinheit zu liefern vermag, so sind die Volta-

schen Säulen vorzugsweise geeignet, starke Ströme hervorzubringen, indem man ihre Pole durch einen Leiter verbindet, d. h. indem man die Kette schließt.

Die durch die Contactwirkung hervorgebrachten elektr. Ströme und davon abhängigen Erscheinungen werden auch galvanische genannt.

Nach Schließung der Kette besteht der Strom eben sowohl in der Säule selbst, als in dem die Pole verbindenden Leiter.

Die Stromstärke wird wesentlich bedingt durch den Leitungswiderstand, den die ganze Kette der Elektricität entgegensetzt. Der Einfluß dieses Widerstandes wird um so merklicher, je geringer die Spannung ist, mit welcher die Quelle die Elektricität zu liefern vermag. Deshalb zeigen Körper, die bei Anwendung von Reibungs-Elektricität nur unmerklichen Widerstand darbieten, und daher alle als vollkommene Leiter erscheinen, bei Anwendung der Voltaschen Säule sehr verschiedene Widerstände. Bei Anwendung der Reibungselektricität zeigt sich, daß kein Körper ein vollkommener Nichtleiter sei; die Ströme der Voltaschen Säule lassen erkennen, daß es keinen vollkommenen Leiter gebe; — die Versuche mit ersterer verlangen zum Gelingen vorzugsweise gute Isolirung, die mit letzterer gute Leitung.

Von einer vollständigen Voltaschen Säule kann man bei geschlossener Kette das erste und letzte Metall ohne Nachtheil hinweglassen; daher werden die Ausdrücke: Zinkpol und Kupferpol und ähnliche zweideutig, und es sind die Bezeichnungen: positiver und negativer Pol, beizubehalten.

Eine durch einen guten Leiter (z. B. einen kurzen dicken Metalldraht) geschlossene Säule bietet in der Säule selbst den größten Widerstand dar, weil der feuchte Leiter der schlechteste Leiter der Kette ist; deshalb ist es in vielen Fällen zweckmäßig, die Anzahl der Elemente zu verringern. Das Extrem ist die einfache Kette, aus zwei durch einen Metalldraht einerseits und durch eine Flüssigkeit andererseits verbundenen heterogenen Elektromotoren bestehend.

Eine Kette aus lauter Elektromotoren ohne Einschaltung eines Leiters zweiter Classe giebt keinen Strom.

In jeder geschlossenen Kette geht die Richtung des Stroms in dem Contact der Elektromotoren von dem negativen zum positiven, in der Flüssigkeit von dem positiven zum negativen Elektromotor.

Man nennt Rheomotor jede Elektricitätsquelle, Rheophor den einen elektrischen Strom fortführenden Leiter, Rheometer jede Vorrichtung, welche die Stromstärke zu messen erlaubt.

Die Wirkungen des elektrischen Stromes sind magnetische, thermische, chemische, physiologische und optische. Die letzten können erst am Schlusse der Optik eine kurze Erwähnung erfahren.

Kap. 17. Magnetische Wirkung des elektrischen Stromes und darauf gegründete Rheometer.

Seitdem man die Wirkungen der Elektricität näher kennen lernte, hat man immer zwischen ihnen und den magnetischen einen Zusammenhang vermuthet; die einzige Thatsache aber, die einen solchen nachwies, war, daß elektrische Schläge den Magnetismus von Nadeln verändern, nach Befinden umkehren können, bis

Oersted im Jahre 1819 entdeckte, daß ein elektrischer Strom eine in seiner Nähe befindliche Magnetnadel normal auf seine Richtung zu stellen strebt, so daß, wenn man sich in den Strom hineindenkt, derselbe von den Füßen nach dem Kopfe geht, und man das Gesicht der Nadel zuwendet, der Nordpol sich links stellt.

Die richtende Kraft, welche der Strom auf die Nadel ausübt, hängt von seiner Richtung, Länge, Entfernung und Stärke ab, und ist, wenn letztere allein veränderlich, derselben proportional. Man mißt daher die Stromstärke durch die Wirkung des Stromes auf eine Nadel.

Nennen wir die Stromstärke = S, und befindet sich der gradlinige Strom über oder unter einer Declinationsnadel im magnetischen Meridian, ist seine Entfernung von der Nadel constant, und lenkt er dieselbe um den Winkel α ab, so ist

$$S = a \cdot \text{tg.}\ \alpha$$

worin a einen constanten Factor bezeichnet. Hierauf gründet sich die Tangentenbussole.

Dreht man den Strom um eine durch die Umdrehungsaxe der Nadel gelegte Vertikale, so daß er der abgelenkten Nadel parallel bleibt, und der Ablenkungswinkel ist $= \beta$, b aber eine Constante, so hat man $S = b \sin.\ \beta$, worauf die Sinusbussole beruht.

Läßt man den Strom im magnetischen Meridian, und bringt die abgelenkte Nadel durch Drehung des Aufhängepunktes ihres Fadens um den Winkel = n ebenfalls in denselben zurück, so ist, wenn c eine Constante bezeichnet, $S = c \cdot n$, was die Torsionsbussole giebt.

Läßt man den Strom normal auf den magnetischen Meridian über oder unter einer Declinationsnadel hinweggehen, so lenkt er die Nadel nicht ab, wenn er sie nicht um 180° umkehrt, was nicht brauch-

bar wäre, aber er verstärkt oder schwächt ihre Richtkraft. Ist diese unter Einwirkung der Erde allein $= p$, unter gleichzeitiger Einwirkung des Stromes $= p \pm \frac{1}{e} s$; worin e eine Constante bezeichnet, — beobachtet man die Schwingungszeit der Nadel $= t$ im ersten und $= t'$ im zweiten Falle, so ist

$$\pm s = e \cdot \frac{t^2 - t'^2}{t'^2} \cdot p$$

was die Oscillationsbussole begründet.

Vorzüglich sind die Tangenten- und die Sinusbussolen in Anwendung gekommen.

Die Tangentenbussole zeichnet sich durch bequeme Anwendbarkeit und dadurch aus, daß sie theoretisch für jede Stromstärke gebraucht werden kann, obwohl sie bei großen Ablenkungen sehr unempfindlich wird. Sie ist aber nicht genau, weil der Factor a bei verschiedenen Ablenkungen nicht unveränderlich ist, und bei aufgehängten Nadeln ist die Torsion des Fadens von Einfluß. Beide Nachtheile sind bei der Sinusbussole vermieden, ihre Empfindlichkeit nimmt auch mit der Ablenkung zu, aber sie ist nur bis zu Stromstärken brauchbar, die $\beta < 90^0$ geben.

Die Anzeigen der Tangenten- und Sinusbussole sind unabhängig von der Stärke des Magnetismus der Nadel, wogegen bei der Torsionsbussole die Constante c davon abhängt, eben so die Constante p bei der Oscillationsbussole.

Kap. 18. Von dem Multiplicator.

Führt man einen Strom im magnetischen Meridiane über einer Magnetnadel hinweg und unter ihr in entgegengesetzter Richtung zurück, so werden bei gleicher Entfernung von der Nadel beide Stromtheile gleiche drehende Kraft auf sie ausüben, und die Wirkung wird daher verdoppelt. Indem man aber den Strom wiederholt um die Nadel herumleitet, kann man die Wirkung fast beliebig vermehren, worauf der von Schweigger angegebene Multiplicator beruht.

Die Windungen des Multiplicatordrahtes müssen von einander isolirt sein, was man durch Umspinnen des Drahtes mit Seide oder Baumwolle bewirkt.

Die Empfindlichkeit des Multiplicators wird durch Anwendung einer Nobilischen (fast astatischen) Doppelnadel beträchtlich erhöht.

Könnte man alle Windungen des Multiplicators in dieselbe Entfernung von und Lage zu der Nadel bringen, so würde die Wirkung der Anzahl der Windungen bei gleicher Stromstärke proportional sein. Da aber die äußeren Windungen sich immer weiter von der Nadel entfernen, je zahlreicher ihre Menge ist, da man sehr viele Windungen nur mit feinem Drahte ausführen kann, die Einschaltung eines langen und dünnen Drahtes in die Kette aber die Stromstärke vermindert, so ist es in vielen Fällen zweckmäßiger, weniger Windungen mit dickerem Drahte anzuwenden, — und man unterscheidet allgemein Multiplicatoren mit langem (und dünnem) und mit kurzem (und dickem) Drahte.

Die Enden des Multiplicatordrathes müssen zugänglich sein, um denselben in die Kette einschalten zu können; zugleich müssen die Multiplicatorwindungen unabhängig von der Nadel drehbar sein, um ihre Ebenen nach Feststellung und ohne Verrückung des ganzen Instrumentes in den magnetischen Meridian einzustellen.

Bei genauen Messungen muß dafür gesorgt sein, daß nur die Multiplicatorwindungen, aber nicht die übrigen Stromtheile auf die Nadel wirken.

Zu manchen Untersuchungen ist es von Vortheil, einen Multiplicator aus zwei Drähten zu winden. Läßt man in diesen zwei Ströme in entgegengesetzten Richtungen circuliren, so dient das Instrument als Differentialmultiplicator.

Der Multiplicator kann als Tangenten-, Sinus-, Torsions- und Oscillationsbussole angewendet werden. Sollen seine Anzeigen als Tangenten- oder Sinusbussole unabhängig von der Intensität des Nadelmagnetismus sein, so darf man nur eine Nadel anwenden. Die Anwendung der Tangentenbussole ist immer sehr bequem, aber, ohne Correctionen, ungenau; genauere Messungen gestattet die Sinusbussole.

Das Extrem eines Multiplicators mit kurzem Draht hat man in der zu Messung großer Stromstärken dienenden Weberschen Tangentenbussole, bei welcher der Strom durch einen kreisförmigen Ring aus dickem Kupfer und von großem Halbmesser um eine verhältnißmäßig kurze, in der Mitte des Ringes befindliche Declinationsnadel geführt wird. Nennt man die Wirkung der Längeneinheit des Stromes auf einen Magnet in der Entfernungseinheit = S, so hat man

$$S = \frac{R}{\pi} \cdot \frac{T}{2} \cdot \text{tg. } \alpha, \text{ worin}$$

R der Halbmesser des Ringes, α die Ablenkung der Nadel und T die Größe der Horizontalintensität der magnetischen Erdkraft, also S wie diese

nach absolutem Maaße gemessen wird, und wobei vorläufig vorausgesetzt wurde, daß die Wirkung eines Stromelementes auf einen Magneten im umgekehrten Verhältnisse des Quadrats der Entfernung steht.

Der Multiplicator, dessen Empfindlichkeit beliebig vergrößert werden kann, dient dazu, das gegenseitige elektromotorische Verhalten zweier Leiter, und daher auch die galvanische Spannungsreihe verschiedener Leiter auszumitteln. In wie fern die dabei anzuwendende Flüssigkeit von Einfluß ist, kann erst später angegeben werden.

Kap. 19. Von den thermischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Der elektrische Strom erzeugt Wärme und erhöht daher die Temperatur der Leiter, durch die er geführt wird. Ist der Strom verhältnißmäßig schwach, und sind die Leiter gut, wie z. B. dicke Metalldrähte, so ist deren Temperaturerhöhung unmerklich. Durch starke Ströme, die man durch schlechtere Leiter, z. B. dünne Metalldrähte, führt, kann man diese in die höchsten Temperaturen, die wir überhaupt kennen, versetzen, und z. B. Platin schmelzen, Kohle zum intensivsten Glühen bringen.

Auf die Erwärmung, welche ein Metalldraht durch einen hindurchgeleiteten Strom erfährt, hat man Rheometer gegründet, die auch Galvanothermometer genannt werden. Entweder wird der Draht in ein Gefäß eingeschlossen, so jedoch, daß seine Enden hervorragen, um ihn in die Kette einschalten zu können, und man mißt die Ausdehnung der ihn umgebenden Flüssigkeit (Luft, Spiritus); oder man spannt den Draht aus, und mißt seine durch den Strom hervorgebrachte Verlängerung.

(Vergl. Kap. 34.)

Kap. 20. Von den chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Die chemischen Wirkungen des Stromes bestehen in der Zerlegung einer chemisch zusammengesetzten Flüssigkeit, durch welche er geht, in ihre Bestandtheile.

Geht ein elektrischer Strom durch eine Flüssigkeit, so nennt man die Oberflächen, durch welche er in die Flüssigkeit ein- und aus derselben austritt, die Elektroden, jene allein die Anode (den positiven Pol), diese die Kathode (den negativen Pol). Diejenigen

Flüssigkeiten, welche durch den Strom zerlegt werden, heißen Elektrolyte, es gehören dazu vorzüglich Wasser, andere Oxyde, Salze. Die Bestandtheile, in welche das Elektrolyt zerlegt wird, heißen die Jonen. Sie werden gesondert an den beiden Elektroden frei, und den an der Kathede austretenden nennt man das Kation (den positiven Bestandtheil), den an der Anode abgeschiedenen das Anion (den negativen Bestandtheil). Im Wasser und den Metalloxyden sind Wasserstoff und die Metalle das Kation, Sauerstoff das Anion; in Sauerstoffsalzen das Metalloxyd das Kation, die Säure das Anion; in Haloidsalzen das Metall das Kation, der Salzbilder das Anion.

Bei der Zerlegung eines Elektrolyten durch den Strom treten häufig secundäre chemische Wirkungen auf, indem sich ein Jon mit der Substanz der Elektrode verbindet, oder indem zwei gleichzeitig an derselben Elektrode ausgeschiedene Jonen auf einander wirken.

Die in einer gegebenen Zeit zersetzte Menge des Elektrolyten, also auch die ausgeschiedene Menge der Jonen ist der Stromstärke proportional, und kann daher zu Messung der letzteren angewendet werden. Gewöhnlich bedient man sich dazu der Zersetzung des mit Schwefelsäure versetzten Wassers, indem man das während einer bestimmten Zeit ausgeschiedene Sauerstoff- und Wasserstoffgas entweder zusammen oder jedes für sich auffängt und mißt, worauf das chemische Rheometer oder Voltameter beruht.

Nimmt man die Minute und das Cubikcentimeter als Einheit an, und bedeutet **n** die Anzahl Cubikcentimeter Knallgas, auf 0° C. und 0,76 Druck reducirt, welche von einem Strome in 1 Minute geliefert wird, so wäre dessen Stärke nach chemischem Maaße $= n$. Nach der der Magnetkraft zu Grunde gelegten Einheit war aber die Stromstärke $S = \frac{RT \text{ tg. } \alpha}{2 \pi}$, wenn dieselbe in der Weberschen Tangentenbussole vom Halbmesser $= R$ Meter die Ablenkung $= \alpha$ hervorbringt. Wird ein Strom von der Stärke $S = 1$ durch Wasser geleitet, so liefert er in 1 Minute 1,0477" Knallgas (nach Beobachtungen von W. Weber), man hat also $1{,}0477\ S = n$ oder $S = 0{,}9545\ n$.

Kap. 21. Von den physiologischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Wenn durch einen Nerv eines lebenden oder noch hinlängliche Reizbarkeit besitzenden getödteten Thieres ein elektrischer Strom geführt

wird, so erregt jede Veränderung der Stromstärke (Verstärkung und Schwächung, daher besonders Entstehung und Verschwinden des Stromes) die Thätigkeit des Nerven, und bringt theils in den von ihm abhängigen Muskeln Contractionen (Zuckungen), theils Empfindung hervor. Die Wirkung ist um so stärker, je größer und auf einen je kürzeren Zeitraum concentrirt die Veränderung der Stromstärke ist. Die Wirkungen der Entladungen von Maschinenconductoren und Verstärkungsflaschen auf den thierischen Organismus gehören hieher, und sind im Verhältniß zu ihrer Stromstärke so kräftig, weil sie in sehr kleinen Zeiträumen vor sich gehen.

Die Wirkung auf die Empfindung findet einigermaaßen auch während des constanten Stromes Statt.

Galvani entdeckte (1786) diese Wirkung des elektrischen Stromes auf den bloßgelegten Nerven eines Frosches, welches Thier auch noch längere Zeit nach seinem Tode hinlängliche Reizbarkeit zum Gelingen des Versuches behält, und daher ganz besonders dazu geeignet und oft angewendet worden ist. Er wurde dadurch der Begründer des Galvanismus. Volta zeigte, daß die Contractionen des präparirten Froschschenkels sicher und stark nur erfolgen, wenn man Muskel und Nerv, oder zwei Stellen des Nerven mit heterogenen Metallen in leitende Verbindung und diese dann in Berührung bringt, oder deren Berührung aufhebt, was ihn auf die Contacttheorie leitete.

Bei mäßig reizbaren Präparaten sind die Schließungszuckungen bei absteigendem, die Oeffnungszuckungen bei aufsteigendem Strome stärker, was dazu dienen kann, mittelst des physiologischen (Frosch-) Rheoskops die Richtung des Stromes zu erkennen.

Schon Galvani zeigte durch Versuche, daß das Froschpräparat durch Berührung verschiedener seiner Theile ohne Hinzunahme irgend eines Metalles Ströme erzeugen könne, und obwohl v. Humboldt u. A. diese Behauptung bestätigten, sind doch diese eigenthümlichen, von den thierischen Organen erzeugten Ströme erst neuerlich durch Nobili, Matteucci, besonders aber durch Dübois unwiderleglich nachgewiesen und genauer erforscht worden. — Bei einem Muskel ist der Querschnitt der Fasern negativ gegen den Längsschnitt oder die Oberfläche, und auch die Nerventheile verhalten sich ähnlich gegen einander.

Die elektrischen Ströme hat man in mannichfacher Weise auf verschiedene Theile des menschlichen Körpers einwirken lassen, um davon medicinische Wirkungen zu erlangen. Aus dem Vorigen folgt, daß die Wirkungen besonders kräftig sind, wenn man die Kette oft

und schnell hinter einander schließt und unterbricht, wozu man de Stromunterbrecher sich bedient, vorzüglich aber die später abzuhandelnden Elektromagnete sich eignen.

Gewisse Fische verschiedener Familien, von denen der Zitterrochen und der Zitteraal die bekanntesten sind, vermögen anderen Thieren, mit denen sie durch Leiter in Verbindung stehen, heftige Commotionen willkührlich zu ertheilen. Daß diese durch elektrische Entladungen bewirkt werden, ist schon durch die Empfindung selbst, mehr noch deshalb unzweifelhaft, weil nur elektrische Leiter die Wirkung fortpflanzen können. Man hat jedoch durch Armirung der verschiedenen Theile des Fisches mit Metallplatten und Schließung derselben zu einer Kette auch Wirkungen auf die Magnetnadel und Funken erhalten. Diese elektrischen Schläge werden von einem besonderen, aus häutigen mit Flüssigkeit erfüllten Zellen bestehenden Organe vermittelt, dieses wird aber erst von dem Gehirn aus durch eigenthümliche Nerven geladen, d. h. in den Zustand versetzt, in welchem es die Schläge zu ertheilen vermag.

Kap. 22. Von dem Ohmschen Gesetze und dem Widerstande der Leiter erster Classe.

Die Stromstärke, S, hängt nur von der in der Kette vorhandenen Spannungsdifferenz der elektromotorischen Kraft, A, und von dem Leitungswiderstande, L, der ganzen Kette ab, so daß $S = c \cdot \frac{A}{L}$ ist, worin c einen constanten, von den angenommenen Einheiten abhängigen Factor bezeichnet.

Die elektromotorische Kraft ist in der Hauptsache durch den angewendeten Rheomotor gegeben und wir setzen sie vorläufig constant.

Der Leitungswiderstand ist die Summe der Widerstände der einzelnen Theile der Kette.

Man unterscheidet häufig den wesentlichen Widerstand der Kette, d. h. den des Rheomotors und Zubehörs von dem accessorischen oder dem des übrigen Leiters, durch welchen die beabsichtigte Wirkung ausgeübt wird. Sei jener $= l_0$, dieser $= l_1$, so hat man $L = l_0 + l_1$.

Nennt man die Stromstärken, die bei Einschaltung der accessori-

schen Widerstände 0, $l_{,}$, $l_{,,}$ rc. erhalten werden, S_0, $S_{,}$, $S_{,,}$ rc., so hat man

$$S_0 = \frac{A}{l_0} \cdot c$$

$$S_{,} = \frac{A}{l_0 + l_{,}} \cdot c$$

$$S_{,,} = \frac{A}{l_0 + l_{,,}} \cdot c \text{ u. s. w.}$$

und sind S_0 $S_{,}$ $S_{,,}$ gemessen, so ergiebt sich

$$l_{,} : l_{,,} = \frac{S_0 - S_{,}}{S_{,}} : \frac{S_0 - S_{,,}}{S_{,,}}.$$

Schaltet man in eine Kette von constanter elektromotorischer Kraft Leiter von gleicher Beschaffenheit und gleichem Querschnitte, aber verschiedener Länge ein und mißt die erhaltenen Ströme, so findet man, daß der Widerstand eines Leiters proportional seiner Länge wächst.

Ein Rheostat ist eine Vorrichtung, die ohne weitere Veränderung und ohne Oeffnung der Kette verschiedene gemessene Längen eines Leiters von constanter Beschaffenheit und constantem Querschnitte einzuschalten erlaubt. Mittelst desselben läßt sich der Widerstand in Längeneinheiten des Rheostatendrahtes ausgedrückt, ermitteln. Derselbe dient auch dazu, einen Strom von beliebiger und constanter Stärke zu erhalten.

Bei gleicher Länge und Beschaffenheit verhält sich der Widerstand eines Leiters umgekehrt wie sein Querschnitt. Ist daher α der Querschnitt des zur Maaßeinheit dienenden Drahtes, a der Querschnitt eines Drahtes derselben Beschaffenheit von der Länge $= l$, so ist $\lambda = \frac{\alpha}{a} \cdot l$ der reducirte Widerstand dieses Drahtes.

Leiter von gleicher Länge und gleichem Querschnitte, aber verschiedener Substanz, haben verschiedenen Widerstand, und diese Leitungswiderstände verschiedener Substanzen lassen sich durch die angegebenen Mittel messen. Die Leitungsfähigkeit einer Substanz ist das Umgekehrte ihres Leitungswiderstandes. Dieselbe beträgt, wenn man die des Platins oder die des Kupfers = 100 setzt, für

Kupfer	738	oder	100
Gold	623	=	84,4
18karäthiges Gold . .	109	=	14,8
Silber mit 0,014 Kupfer	860	=	116,5
Silber mit 0,052 Kupfer	656	=	88,9

Silber mit 0,2 Kupfer	569	oder	77,1
Gaarkupfer	224	=	30,4
Zink (nach Ohm)	195	=	26,4
Messing	194	=	26,3
Eisen	121	=	16,4
Platin	100	=	13,6
Neusilber (nach Rieß)	54	=	7,3
Quecksilber	19	=	2,6

Diese Werthe sind, mit Ausnahme der zwei angegebenen Fälle, von Pouillet erhalten. Andere Beobachter geben ziemlich differente Bestimmungen, was sich durch den beträchtlichen Einfluß erklärt, den geringe Verunreinigungen auf die Leitungsfähigkeit ausüben, und der auch schon aus den angeführten Zahlen erhellt. Deshalb ist es auch schwierig, eine allgemeine Einheit für den Leitungswiderstand einzuführen. Nach Jacobi soll diese Schwierigkeit durch Verbreitung von Etalons gehoben werden.

Man ersieht aus obigen Zahlen den großen Unterschied in der Leitungsfähigkeit selbst der besten Leiter, und die schlechterer Leiter ist kaum damit zu vergleichen.

Auch die Temperatur hat einen sehr merklichen Einfluß auf die Leitungsfähigkeit der Metalle, indem diese mit der Zunahme der Temperatur abnimmt. Nach Lenz ist die Leitungsfähigkeit

für	bei 0°	bei 100° C.	bei 200° C.
Silber	136,25	94,45	68,72
Kupfer	100,00	73,00	54,82
Gold	79,79	65,20	54,49
Zinn	30,84	20,44	14,78
Messing	29,33	24,78	21,45
Eisen	17,74	10,87	7,00
Blei	14,62	9,61	6,76
Platin	14,16	10,93	9,02

Ist der Querschnitt eines Leiters = a, seine Länge = l, seine Leitungsfähigkeit = r, und für den zur Maaßeinheit dienenden Leiter der Querschnitt = α und die Leitungsfähigkeit = ϱ, so ist die reducirte Länge des ersteren

$$\lambda = \frac{\alpha\varrho}{ar} \cdot l.$$

Das Verhältniß der Stärke verschiedener Ströme kann man auch und zwar mit Hülfe eines empfindlichen Galvanometers, erhalten durch **Abzweigung**, d. h. Verbindung der Enden eines Stückes, des **Hauptzweiges**, der Leitung durch einen zweiten Leiter, dem **Nebenzweige**.

Sei die elektromotorische Kraft = A, der Leitungswiderstand der ganzen Kette = L, der des Hauptzweiges = l, der des Nebenzweiges = λ, so ist die Stromstärke

$$\text{ursprünglich } S = \frac{A}{L}$$

$$\text{nach der Abzweigung } (S) = \frac{A}{L - l + \frac{l\lambda}{l + \lambda}}$$

$$= \frac{A\,(l + \lambda)}{(L - l)\,(l + \lambda) + l\lambda}$$

und weil der Strom sich in beiden Zweigen ihrem Widerstande umgekehrt proportional vertheilt,

$$\text{in dem Hauptzweige } s_0 = \frac{A\lambda}{(L - l)\,(l + \lambda) + l\lambda}$$

$$\text{in dem Nebenzweige } s = \frac{Al}{(L - l)\,(l + \lambda) + l\lambda}$$

Nimmt man l verschwindend klein gegen λ, so wird $(S) = S$

$$s_0 = S$$

d. h. die Stromstärke bleibt in der ganzen Kette und im Hauptzweige merklich unverändert, aber $s = \frac{Al}{L}$, d. h. die Stromstärke im Nebenzweige ist dem Widerstande des Hauptzweiges proportional.

Hat man daher zwei Ketten mit den Werthen S' A' L' und S'' A'' L'' und zweigt man zwei so große gemessene Längen l' und l'' ihrer Leitung mit einem empfindlichen Multiplicator ab, daß dieser denselben Ausschlag zeigt, so ist

$$\frac{A'\,l'}{L'} = \frac{A''\,l''}{L''} \text{ oder}$$

$$S'\,l' = S''\,l'', \text{ folglich}$$

$$S' : S'' = l'' : l'$$

d. h. die Stromstärken verhalten sich umgekehrt wie die Widerstände des Hauptzweiges, den man abzweigen muß, um im Nebenzweige dieselbe Stromstärke zu erhalten.

Kap. 23. Bestimmung der elektromotorischen Kraft.

Wird die Stromstärke = S und der Leitungswiderstand einer ganzen Kette = L nach bestimmten Einheiten gemessen, so ist durch A = SL auch ihre elektromotorische Kraft bekannt.

Ohne L zu kennen, läßt sich das Verhältniß der elektromotorischen Kräfte zweier Ketten, A' und A'', bestimmen, wenn man durch Einschaltung eines Rheometers und eines Widerstandes mit Hülfe eines Rheostats die Stromstärke beider Ketten gleich macht, dann aber durch weitere Einschaltung der gemessenen Widerstände l' und l'' beide Stromstärken um gleich viel vermindert. Es ist alsdann

$$A' : A'' = l' : l''.$$

Die elektromotorische Kraft ist abhängig von der Substanz der Elektromotore, und wenn z. B. Zink und Kupfer die elektromotorische Kraft = A haben, so ist die von Zink und Platin etwa = 1,7 A. Bei gleicher Substanz der Elektromotore ist die elektromotorische Kraft proportional der Anzahl der Elemente; — und sie ist unabhängig von deren Größe und der Beschaffenheit des feuchten Leiters, in so fern dieser die Oberfläche der Elektromotoren nicht chemisch verändert.

Kap. 24. Von dem Einflusse der Anzahl der Elemente auf die Stromstärke.

Da die Stromstärke $S = \frac{A}{L}$, so kann sie theils durch Vergrößerung von A, theils durch Verkleinerung von L vermehrt werden.

Besteht die Säule aus n Elementen, deren jedes die elektromotorische Kraft = a und den Leitungswiderstand = l besitzt, ist der accessorische Widerstand = λ, so hat man $S = \frac{na}{nl + \lambda}$, und es fragt sich, welchen Einfluß hat n auf die Stromstärke?

Im Allgemeinen wird S immer mit n wachsen, es wird dieß aber in sehr verschiedenem Grade nach dem Verhältnisse von nl zu λ der Fall sein, und man hat zwei Extreme. Wenn

λ verschwindend klein gegen nl ist, so hat man $S = \frac{na}{nl} = \frac{a}{l}$, d. h. die Vermehrung von n ist ohne Nutzen, z. B. bei elektromagnetischen Versuchen mit kurzem und dickem Verbindungsdrahte.

Wenn im Gegentheil nl verschwindend klein gegen λ ist, so hat

man $S = \frac{na}{\lambda}$, d. h. die Stromstärke wächst proportional der Anzahl der Elemente, wie bei sehr langem oder dünnem Verbindungsdrahte, bei Einschaltung des menschlichen Körpers u. dergl.

Indessen nähert man sich in der Wirklichkeit diesen Extremen nur, und vorzüglich wird nl um so weniger vernachlässigt werden können, je größer n ist. Im Allgemeinen ist aber eine Vermehrung der Anzahl der Elemente um so vortheilhafter, je größer der accessorische Widerstand ist.

Es wird nicht selten die Frage aufgeworfen, in wie viele Elemente muß die gegebene Oberfläche = B der Elektromotore getheilt werden, um bei einem gegebenen accessorischen Widerstande = λ die größte Stromstärke zu geben? Sei die zu bestimmende Anzahl der Elemente = n, die elektromotorische Kraft eines einzelnen = a, und der Leitungswiderstand der Oberflächeneinheit eines Elementes = r, so hat man den Leitungswiderstand eines Elementes, da derselbe sich umgekehrt wie seine Oberfläche verhält, $l = \frac{nr}{B}$, also $S = \frac{na}{\frac{n^2r}{B} + \lambda}$.

Soll S ein Maximum werden, so muß $\frac{dS}{dn} = \frac{\lambda a B^2 - n^2 r a B}{(n^2 r + \lambda B)^2} = 0$ werden, also $\lambda = \frac{n^2r}{B}$, oder $n = \sqrt{\frac{\lambda B}{r}}$ sein, d. h. man muß so viele Elemente machen, daß der wesentliche Widerstand dem accessorischen gleich wird.

Kap. 25. Vom Verhalten des feuchten Leiters. Polarisation.

Tropfbare Flüssigkeiten, die nicht Elektrolyte sind (geschmolzene Metalle, also auch Quecksilber), verhalten sich in der galvanischen Kette wie feste Leiter.

In die Kette eingeschaltete Elektrolyte vermindern den Strom nicht allein durch ihren Leitungswiderstand, sondern sie verändern auch die elektromotorische Kraft, und in der Regel vermindern sie dieselbe, so daß der Strom $S = \frac{A}{L}$ durch Einschaltung des feuchten Leiters zu $S_1 = \frac{A - p}{L + \lambda}$ wird.

Die Größe p nennt man die **Polarisation**, und sie ist eine Folge der Veränderung der Oberfläche der Elektroden. Diese Veränderung ist zuweilen leicht nachweisbar, wie z. B. bei Platinelektroden in Kupfervitriollösung, von denen die Kathode durch Ablagerung von Kupfer positiv gegen die Anode, oder bei Kupferelektroden in Schwefelkaliumlösung, von denen die Anode durch Bildung von Schwefelkupfer negativ gegen die Kathode wird. — In vielen Fällen ist jedoch die Veränderung der Elektrodenoberfläche nicht sichtbar, vorzüglich wenn sie auf einer Condensation von ausgeschiedenen Gasarten beruht.

Besonders wichtig ist die Polarisation von Platinelektroden in Wasser oder verdünnter Schwefelsäure, deren Ursache die Condensation von Wasserstoffgas an der Kathode und Sauerstoffgas an der Anode ist, und die bei vollständiger Entwickelung 2,3 der elektromotorischen Kraft eines Kupferzinkelementes beträgt. Deshalb wird Wasser zwischen Platinelektroden von 1 Kupferzinkelemente nicht, von 2 dergleichen nur wenig zerlegt, wogegen 3 eine beträchtliche Wasserzersetzung bewirken. — Platinelektroden, die zur Wasserzersetzung gewirkt haben, geben, zu einer Kette geschlossen, einen kräftigen Strom von einer, der des ursprünglichen Stromes entgegengesetzten, Richtung, der aber schnell abnimmt und erlischt. Herausnehmen aus der Flüssigkeit und Abtrocknen heben den differenten Zustand nicht auf, wohl aber thut es Abreiben, Glühen, Behandlung mit Salpetersäure.

Zwei reine Platinstreifen, von denen der eine in Sauerstoffgas, der andere in Wasserstoffgas gebracht wird, zeigen elektrische Differenz, worauf die Grove'sche Gassäule beruht.

Aber auch ohne Ausscheidung von Gasen werden Metalle in verschiedenen Flüssigkeiten polarisirt, z. B. Platin in Salpetersäure und Kali, woraus sich die zweielementige Kette von Becquerel erklärt.

Darauf läßt sich die Veränderung der elektromotorischen Kraft zweier Elektromotore durch mehrere Flüssigkeiten zurückführen, eine Veränderung, die bis zur Umkehrung des gewöhnlichen Verhaltens gehen kann, z. B. zwischen Kupfer und Eisen in verdünnten Säuren und in einer Auflösung von Schwefelkalium. Auch der sogenannte passive Zustand des Eisens gehört hieher.

Die Polarisation hat bei gegebenen Elektroden und Elektrolyten eine constante Größe, und hängt nicht von der Stromstärke, in so fern sie nur zur vollständigen Entwickelung der Polarisation groß genug ist, nicht von der Größe der Elektroden, nicht von der Concen-

tration des Elektrolyten ab. Sie nimmt, wenigstens in vielen Fällen, mit der Temperatur ab.

Werden die Oberflächen der Elektroden nicht durch den Strom verändert, so tritt auch keine Polarisation auf, z. B. bei Kupferelektroden in Kupfervitriolauflösung.

Die Polarisation wirkt auch im Innern der Säule, und bewirkt in einer Säule mit einer einzigen Flüssigkeit eine schnelle Schwächung und fast Vernichtung des Stromes, gewöhnlich durch Versetzung des negativen Elementes in einen mehr positiven Zustand, weshalb ein Oeffnen der Kette, eine Bewegung der Flüssigkeit, ein Herausnehmen des negativen Elementes die Stromstärke wieder vermehrt.

Es beruhen darauf die Wirkungen der schon früher bekannten Ritter'schen Ladungssäule, so wie der Wippe von Poggendorff.

Kap. 26. Leitungswiderstand des feuchten Leiters.

Abgesehen von der Polarisation unterliegt der Leitungswiderstand eines Elektrolyten denselben Gesetzen, wie der eines Elektromotors, d. h. er ist direct der Länge und umgekehrt dem Querschnitte proportional, weshalb die Wirkung einer Säule vermehrt wird durch Verringerung des Abstandes und durch Vergrößerung der Oberfläche der Elektromotore in ihrer Berührung mit dem feuchten Leiter.

Der Leitungswiderstand einer elektrolytischen Flüssigkeit nimmt beträchtlich ab mit der Zunahme der Temperatur, z. B.

nach Hankel ist der Leitungswiderstand einer gesättigten Kupfervitriollösung von 1,17 specifischem Gewichte

bei 0 °	C.	11,26
11,9	=	7,33
31,0	=	4,70
66,4	=	3,12

derselben Lösung mit 1,7 Wasser

bei 0 °	C.	22,87
11	=	15,16
25	=	10,5
67,4	=	7,1

nach Becker der Widerstand einer Schwefelsäure von 1,24 spec. Gew.

bei 21,2°	C.	4,36
30	=	3,72
100	=	1,45.

Der Widerstand eines flüssigen Leiters ist im Allgemeinen viel größer, als der eines Metalles, und zwar in einem so großen Verhältnisse, daß es bisher nur annähernd bestimmt wurde.

So fand E. Becquerel den Widerstand einer gesättigten Auflösung von

	Kupfervitriol	18450000
	Kochsalz .	3173000
	Zinkvitriol	17330000

wenn man den des Silbers = 1 setzt.

Reines Wasser hat nach Pouillet einen 400 Mal größeren Widerstand, als gesättigte Kupfervitriollösung, weshalb die Einschaltung von destillirtem Wasser in eine Kette die Stromstärke in der Regel sehr schwächt. Geringe Beimischungen von Salzen, Säuren oder Alkalien vermindern den Widerstand des Wassers bedeutend, weshalb gewöhnliches Wasser den Strom viel besser leitet, als destillirtes. Nach Pouillet wird durch $\frac{1}{20000}$ Salpetersäure der Widerstand des reinen Wassers auf $\frac{1}{6}$ vermindert.

Großen Einfluß hat der Grad der Concentration einer Auflösung; so giebt Becker den Widerstand einer Kupfervitriollösung von

	bei 14° C.	22° C.	30° C.
8 Proc. Gehalt zu	42,10	35,60	30,38
16 = = =	28,74	24,88	22,11
24 = = =	24,83	21,21	18,49
28 = = =	22,75	18,34	14,74

Schwefelsäure von

	bei 0° C.	28° C.
1,10 spec. Gewicht zu	4,75	2,45
1,25 = = =	4,54	1,24
1,70 = = =	32,56	9,37.

Hieraus erklärt sich, mit Berücksichtigung der etwa eintretenden Polarisation, die große Verschiedenheit der Stromstärken bei Anwendung verschiedener feuchter Leiter. So geben z. B. zwei Kupferzinksäulen von gleicher Elementenzahl mit Wasser und mit verdünnter Schwefelsäure sehr ungleich starke Ströme, wenn man sie durch einen nicht zu schlechten Leiter schließt; aber in entgegengesetzter Richtung verbunden wird die Wirkung der stärkeren Säule von der der schwächeren gänzlich aufgehoben (Fechner).

Aus der Gleichung $S = \frac{na}{nl + \lambda}$ (vergl. Kap. 24.) ergiebt sich, in welchem Verhältnisse eine Verminderung des Werthes l durch

Vermehrung der mit dem feuchten Leiter in Berührung stehenden Oberfläche der Elektromotoren, durch Anwendung von Flüssigkeiten mit geringerem Leitungswiderstande und durch Verringerung des Abstandes der Elektromotoren von einander — die Stromstärke vermehrt wird. Im Allgemeinen wird die Verminderung von l um so wirksamer sein, je kleiner λ gegen nl ist, d. h. also auch je weniger Einfluß die Vermehrung von n auf die Verstärkung des Stromes ausübt.

Einen verhältnißmäßig großen Widerstand bringen organische Körper durch ihre Einschaltung in die Kette. Ein Mensch, der mittelst benäßten Händen und damit erfaßten Metallcylindern sich in die Kette bringt, bietet nach Lenz einen Widerstand von 1500208 Engl. Fuß Kupferdraht von 1 Engl. Linie Durchmesser. Deshalb gehört eine größere elektromotorische Kraft dazu, um kräftige Ströme durch einen menschlichen Körper zu leiten.

Kap. 27. Von der Einrichtung der galvanischen Rheomotore und einigen Hilfsapparaten.

Abgesehen von der Substanz der Elektromotore, der Beschaffenheit des feuchten Leiters, der Anzahl und Größe der Elemente hat die Einrichtung der Volta'schen Säule noch mancherlei Veränderungen erfahren.

Die ursprüngliche Säulenform, unbequem wegen des Aufbauens, Auseinandernehmens und Reinigens, wird wenig mehr angewendet, vorzüglich nur noch, wenn es auf eine große Anzahl von Elementen ankommt. Ihr Extrem hat man in den trocknen Säulen.

Etwas bequemer ist der Trogapparat mit festen Zellen.

Der Uebelstand, daß bei den genannten Säulen die Metalle auch, während man den Strom nicht braucht, mit der Flüssigkeit in Berührung bleiben und von ihr angegriffen und verändert werden, ist bei der Wollaston'schen Batterie beseitigt, indem man die Platten beliebig eintaucht und aushebt. Dabei umgiebt man zweckmäßig die positive Platte von beiden Seiten mit der negativen. Der Calorimotor von Hare und der Cylinderapparat von Pohl schließen sich dieser Einrichtung an.

Das Zink wird, wenn man einigermaßen starke Säure anwendet, heftig von dieser angegriffen, auch wenn die Kette nicht geschlossen ist, wodurch großer Zinkverlust, schnelle Verschlechterung der Flüssigkeit und lästige Entwickelung von zinkhaltigem Wasserstoffe entsteht.

Diesen Uebelstand beseitigt man, nach de la Rüe, durch Amalgamation der Zinkoberfläche.

Die schnelle Abnahme der Stromstärke in allen früheren Säulen durch Polarisation des negativen Elektromotors, in der Regel um so beträchtlicher, je kräftiger der Apparat wirkt, und um so störender, je mehr es auf eine lang dauernde und constante Wirkung ankommt, ist im Wesentlichen durch die sogenannten constanten Batterien beseitigt worden. Man verdankt ihre erste Idee Becquerel, ihre erste praktische Ausführung Daniell. Sie bestehen darin, daß man den negativen Elektromotor in eine Flüssigkeit taucht, in welcher er keine Polarisation erleidet, wobei man sich aber genöthigt sieht, den positiven Elektromotor in eine andere Flüssigkeit zu tauchen, und beide Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand, wozu man Thierblase, dichtes Gewebe, dickes Papier, sehr dünnes Holz, gemeiniglich aber poröse gebrannte Thonzellen wählt, — zu trennen, ohne ihre leitende Verbindung aufzuheben.

Die gewöhnlichsten dieser constanten Batterien sind die von

Daniell mit Kupfer in Kupfervitriolauflösung, die man durch oben eingehängte Krystalle möglichst constant erhalten kann, und Zink in verdünnter Schwefelsäure oder Auflösung von Kochsalz, Glaubersalz, Zinkvitriol oder noch andern Salzen;

Grove mit Platin in concentrirter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure;

Bunsen mit besonders präparirter Kohle in concentrirter Salpetersäure und Zink in verdünnter Schwefelsäure.

Die Daniell'sche Batterie hat eine geringere elektromotorische Kraft und einen größeren Leitungswiderstand, als die beiden andern, die in dieser Hinsicht beinahe gleich sind, so daß bei ihnen die elektromotorische Kraft etwa = 1,7, der Leitungswiderstand der Oberflächeneinheit bei gleicher Concentration der Schwefelsäure etwa = 0,55 ist, wenn man beides bei der Daniell'schen Batterie = 1 setzt. — Es geben daher bei gleicher Größe und Anzahl der Elemente die Batterien von Grove und Bunsen weit stärkere Ströme, als die von Daniell. — Dagegen ist letztere bequemer im Gebrauche, weniger kostbar und auf längere Zeit ziemlich constant. — Die Batterie von Bunsen ist wegen geringerer Kostspieligkeit der Anschaffung bei ziemlich gleicher Wirksamkeit der von Grove vorzuziehen, wenn man anhaltend damit zu arbeiten hat, — wogegen für den Gebrauch zu einzelnen Experimenten die letztere bequemer ist.

Zur Verbindung der verschiedenen Leiter einer Kette dienen Schraubenklemmen, oder wenn die Verbindung beliebig schnell hergestellt und aufgehoben werden soll, Quecksilber und metallische Federn. Die Oberflächen der Verbindungsstellen müssen rein metallisch sein.

Der Commutator (Gyrotrop, Inversor) dient dazu, die Richtung des Stromes in einem Leiter schnell und beliebig umzukehren. Man erreicht dieses theils durch Quecksilberverbindungen, theils durch metallische Federn, die gewöhnlich auf dem theils leitenden, theils isolirenden Umfange von um ihre Axe drehbaren Ringen schleifen.

Kap. 28. Von den thermoelektrischen Strömen.

Nach dem Bisherigen giebt eine nur aus Elektromotoren gebildete, geschlossene Kette keinen Strom. Wenn aber zwei Verbindungsstellen verschiedener Leiter erster Classe eine verschiedene Temperatur haben, so geht ein Strom durch die Kette, — welcher von seinem Entdecker Seebeck ein thermoelektrischer genannt wurde.

Bildet man eine Kette aus zwei der folgenden Metalle: Wismuth, Platin, Kupfer, Messing, Gold, Silber, Zink, Eisen, Antimon, so geht in der wärmeren Verbindungsstelle ein Strom von dem in der Reihe voranstehenden nach dem später folgenden; indessen haben darauf kleine Verschiedenheiten in der Reinheit und besonders auch in der Structur der Metalle beträchtlichen Einfluß, so daß z. B. verschiedene Sorten von Platin, Kupfer und Messing eine verschiedene Stelle in der Reihe einnehmen. Die Endfläche eines Wismuth- oder Antimonstäbchens zeigt wesentliche Verschiedenheiten, je nachdem sie normal oder parallel der Krystallaxe ist. Ein krystallinisches Metall giebt schwache Ströme, wenn es mitten in seiner Masse erwärmt wird.

Eine genügende Erklärung der Entstehungsart dieser Ströme, die auf einen Zusammenhang zwischen Wärme und Elektricität hinweisen, ist nicht gegeben worden.

Die elektromotorische Kraft dieser Ströme ist im Allgemeinen sehr gering, z. B. fanden Pouillet und Wheatstone die zwischen Wismuth und Kupfer bei 100° C. Temperaturdifferenz $= \frac{1}{95}$ der eines Daniell'schen Elementes. — Daher erreichen diese Ströme nur bei geringem Leitungswiderstande der Kette eine merkliche Stärke, und sind vorzüglich nur durch magnetische Wirkungen beobachtet worden.

Bei genauern Messungen von Strömen hat man sich vor Temperaturdifferenzen zu hüten.

Die elektromotorische Kraft, und sonach bei unverändertem Leitungswiderstande auch die Stromstärke hängt allerdings von der Temperaturdifferenz der Verbindungsstellen ab, und bei geringen Differenzen sind sie derselben merklich proportional. Allein bei größeren Differenzen ist das nicht mehr der Fall, die Stromstärke erreicht oft ein Maximum, z. B. nach Henkel zwischen Eisen und galvanisch niedergeschlagenem Kupfer bei 167° C., zwischen Eisen und einem anderen Kupfer bei 195° C., zwischen Eisen und Silber bei 184° C., — nimmt bei größeren Temperaturdifferenzen wieder ab, und kann sogar in die entgegengesetzte Richtung übergehen.

Deshalb und weil die geringsten Aenderungen des Leitungswiderstandes die Stromstärke ändern, ist eine Messung von Temperaturen durch die Stromstärke einer Thermokette nur in beschränktem Maaße möglich. Pouillet gründet darauf sein Pyrometer. Genaue Messung von niedrigen Temperaturen kann man erhalten, wenn man die eine Verbindungsstelle der zu messenden Temperatur aussetzt, die andere aber isolirt in Wasser taucht, dessen Temperatur man verändert, bis ein eingeschalteter empfindlicher Multiplicator keine Spur eines Stromes zeigt.

Die elektromotorische Kraft der thermoelektrischen Ströme kann man durch mehrfache Abwechselung zweier Metalle, deren abwechselnde Verbindungsstellen eine Temperaturdifferenz erhalten, verstärken. Darauf beruht die thermoelektrische Säule von Nobili, das empfindlichste Differentialthermometer.

Kap. 29. Von den elektrischen Strömen auf Erzgängen.

Verbindet man in einer Grube zwei Erzpunkte, die aus guten Leitern bestehen und nicht innerhalb des Gesteines in ununterbrochenem metallischen Contact sich befinden, durch einen Leitungsdraht, so zeigt sich in diesem ein elektrischer Strom. Derselbe besitzt, so weit darüber Beobachtungen vorliegen, immer eine weit geringere elektromotorische Kraft, als der eines einfachen Kupferzinkelementes. Hervorgebracht wird er durch die mehr oder weniger differente Beschaffenheit der beiden Erzmittel, die als Elektromotoren wirken, und durch das dazwischen liegende, von Feuchtigkeit durchdrungene taube Gestein,

welches den feuchten Leiter abgiebt. Dabei ist der geringe, mit der Entfernung der beiden Erzpunkte von einander kaum zunehmende Leitungswiderstand des letzteren bemerkenswerth, und aus der großen Ausdehnung desselben erklärlich.

Die Beschaffenheit der zur Verbindung an die Erze zu drückenden Metallplatten ist bei dem Versuche gleichgiltig. Auch eine Temperaturdifferenz derselben ist von geringem und untergeordnetem Einflusse.

Die Stromstärke wird theils von dem jedesmaligen Leitungswiderstande bedingt, theils hängt sie und die Richtung des Stromes von der Beschaffenheit der verbundenen Erze ab. Die Menge der letzteren hat darauf keinen Einfluß. Zwei Erzpunkte von ganz gleicher Beschaffenheit würden keinen Strom geben, werden aber nicht leicht gefunden werden.

Es findet auch ein Strom zwischen einem Erzpunkte und zwischen einem tauben Punkte statt, dann ist aber die mit letzterem verbundene Metallplatte der eine Elektromotor, und deren Substanz von größtem Einflusse.

Will man einen tauben Punkt in hinlänglich gut leitende Verbindung bringen, so muß man ein Bohrloch darin mit angesäuertem Wasser füllen, und einen Kupferstreifen hineinstecken.

Zwei taube, von allen Erzen entfernt liegende Punkte mit einander verbunden, geben keinen Strom; befindet sich aber in der Nähe des einen Erz, so erhält man schwache Ströme. Man kann daher aus der Beobachtung dieser auf das Vorhandensein von Erz in der Nähe schließen. Eine nützliche Anwendung davon zu Aufsuchung von Erz zu machen, wird dadurch verhindert, daß geringe Erzspuren und Erze ohne Werth im Allgemeinen eben so starke Ströme liefern, als ausgedehnte, werthvolle Erzmittel, weshalb auch bei vielen Erzgängen überall in ihrer Nähe Ströme gefunden werden.

Zeigt ein empfindlicher Multiplicator zwischen zwei verbundenen Punkten einer Grube keinen Strom, so ist immer ein galvanisches Element zur Probe in die Kette einzuschalten. Erzeugt dasselbe keinen Strom, so ist die leitende Verbindung irgendwo mangelhaft, und muß verbessert werden.

Kap. 30. Die Theorie von Ampère.

So wie ein Leiter, durch welchen ein Strom geht, auf einen Magneten wirkt, muß auch dieser auf jenen eine Wirkung ausüben. —

Diese Wechselwirkung wird nach Ampère auf die Wirkung eines Stromes auf einen anderen zurückgeführt, indem er annimmt, daß in einem Magneten elementare elektrische Ströme vorhanden sind.

Durch Beobachtung der Wirkung eines elektrischen Stromes auf einen anderen, die man die elektrodynamische nennt, fand Ampère, und wurde durch W. Weber bestätigt, daß die Wirkung eines Stromelementes auf ein anderes ausgedrückt wird durch

$$-\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}\,(\sin.\,\alpha\,\sin.\,\beta\,\cos.\,\gamma - \tfrac{1}{2}\cos.\,\alpha\,\cos.\,\beta)$$

oder $$-\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}\,(\cos.\,\varepsilon - \tfrac{3}{2}\cos.\,\alpha\,\cos.\,\beta),$$

worin i und i' die Stromstärken in den beiden Elementen von der Länge ds und ds', r deren Entfernung, α und β den Winkel ihrer Richtung mit der nach derselben Seite verlängerten Verbindungslinie, γ den Winkel der durch die beiden Stromelemente und ihre Verbindungslinie gelegten Ebenen, ε den Winkel der beiden Stromrichtungen mit einander, das negative Zeichen aber eine Anziehung, das positive eine Abstoßung bezeichnen.

Daraus folgt:

Die Wirkung zweier parallelen, auf ihrer Verbindungslinie normalen Ströme von der Länge s und s' ist $-\frac{i\,i'\,s\,s'}{r^2}$ oder $+\frac{i\,i'\,s\,s'}{r^2}$ je nachdem sie gleich oder entgegengesetzt gerichtet sind. — Ein geradliniger Strom von unendlicher Länge wirkt auf ein Strom-Element im umgekehrten einfachen Verhältniß der Entfernung.

Die Wirkung zweier in derselben Graden liegender Stromelemente ist $+\frac{1}{2}\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}$ oder $-\frac{1}{2}\frac{i\,i'\,ds\,ds'}{r^2}$ je nachdem sie nach derselben Seite oder entgegengesetzt gerichtet sind.[1]

Zwei geradlinige, in derselben Ebene liegende Ströme suchen sich parallel und gleichgerichtet zu stellen; ist der eine derselben um einen Endpunkt drehbar, und liegt der andere, unbewegliche außerhalb des von jenem zu beschreibenden Kreises, so dreht sich jener continuirlich um seinen festen Endpunkt. Es geschieht dieß um so leichter, wenn der unbewegliche Strom den beweglichen ringförmig umgiebt.

Ein Magnet wird gebildet von kreisförmigen elementaren Strömen, deren Ebenen normal auf der Magnetaxe stehen, und eine solche Richtung haben, daß der Nordpol links liegt, wenn man sich, das

Gesicht nach innen gekehrt, so in den Strom hinein denkt, daß er von den Füßen nach dem Kopfe gerichtet ist. Die Wirkung dieser elementaren Ströme nach außen ist dieselbe, als wenn eben so gerichtete Ströme den Magnet umkreisten.

Ein geradliniger Strom sucht einen kreisförmigen so zu drehen, daß beide in derselben Ebene liegen, die Stromrichtung in dem genäherten Theile aber dieselbe wird; — ein geradliniger Strom sucht einen Magneten normal auf seine Richtung zu stellen, so daß der Nordpol links liegt. In dieser Stellung ziehen sich Magnet und Strom an, in der entgegengesetzten stoßen sie sich ab.

Zwei kreisförmige Ströme suchen die parallele Richtung anzunehmen; — zwei Magnete suchen sich mit ihren Axen parallel zu stellen.

Zwei parallele, gleichgerichtete, kreisförmige Ströme ziehen sich an, wenn ihre Ebenen normal auf der ihre Mittelpunkte verbindenden Graden liegen: sie stoßen sich ab, wenn sie sich in derselben Ebene befinden. — Zwei gleichgerichtete Magnete ziehen sich an, wenn ihre Axen in derselben Graden, stoßen sich ab, wenn ihre Axen parallel neben einander liegen.

Ein geschlossener, ebener Strom, am wirksamsten eine von einem Strome durchflossene Spirale, wirkt nach außen wie ein Magnet; er zeigt auf der linken Seite einen Nordpol, auf der rechten einen Südpol, und stellt sich durch die magnetische Erdkraft normal auf die Richtung derselben, wenn er hinlängliche Beweglichkeit besitzt.

Im Innern einer elektrischen Spirale ist die Wirkung ganz verschieden von der eines hohlen Magneten; jene zieht einen eingebrachten Magneten von gleichliegenden Polen in sich hinein, bis sein Indifferenzpunkt mit dem Mittelpunkte der Spirale zusammenfällt.

Ein Pol eines Magneten und ein mit dessen Axe paralleler Strom suchen um einander zu rotiren. — Barlow's Rad.

Aus dieser Theorie ergiebt sich, weshalb Nord- und Südmagnetismus in einem Magneten immer in gleicher Stärke auftreten, und eine Abgabe von Magnetismus von einem Körper an einen anderen nicht möglich ist. Magnete mit Consequenzpunkten lassen sich durch elektrische Spiralen nachahmen.

Kap. 31. Von den Elektromagneten.

In einem magnetisirbaren Körper werden die einzelnen Theilchen von elektrischen Melekularströmen umkreist, deren Ebenen, so lange der

Körper unmagnetisch ist, alle möglichen Richtungen haben. Indem diese Ebenen ganz oder theilweise parallel werden, wird der Körper zu einem Magneten. (W. Weber.) — Daher die magnetische Influenz.

Daher macht ein elektrischer Strom ein benachbartes Eisentheilchen magnetisch und zieht es an. (Arago.)

Ein Eisenkern in einer elektrischen Spirale wird stark magnetisch, und bildet einen vorzugsweise sogenannten Elektromagneten. (Sturgeon.)

Die Stärke des in einem Eisenkerne erregten Magnetismus, die zu sehr bedeutender Größe anwachsen kann, ist bei größeren Eisenkernen und verhältnißmäßig schwächeren Strömen der Stromstärke merklich proportional (Jacobi), bei kleineren Eisenkernen und stärkeren Strömen nähert sie sich einem Maximum und nimmt daher weniger zu, als die Stromstärke. (Müller.)

Bei gleicher Stromstärke wirkt jede Windung der elektrischen Spirale gleich stark, wenn sie nicht zu nahe an den Enden des Eisenkernes liegt, und ihr Durchmesser hat unter dieser Voraussetzung keinen Einfluß, abgesehen davon, daß weitere Windungen einen größeren Leitungswiderstand in die Kette bringen, als engere. Der Querschnitt und die Substanz des Spiraldrahtes hat nur Einfluß auf den Leitungswiderstand.

So weit der Magnetismus eines cylindrischen Eisenkernes der Stromstärke proportional gesetzt werden kann, nimmt er (nach Müller) zu, wie die Quadratwurzeln seines Durchmessers.

Ein Elektromagnet, dessen Pole durch einen Anker verbunden sind, behält auch nach Oeffnung der Kette starken Magnetismus, verliert ihn aber fast ganz, wenn sein Eisen hinlänglich weich ist, beim Abreißen des Ankers. Soll daher der angezogene Anker beim Oeffnen der Kette durch eine geringe Kraft wieder entfernt werden, so muß dafür gesorgt sein, daß er sich den Polflächen nicht bis zur Berührung nähern könne.

Die Leichtigkeit und fast augenblickliche Schnelligkeit, mit welcher man einen Eisenstab durch die Schließung einer Kette mittelst einer elektrischen Spirale in einen sehr starken Magneten verwandeln kann, hat die Idee der elektromagnetischen Umtriebsmaschinen erregt. Sie beruhen entweder auf der abwechselnden Anziehung und Abstoßung paarweiser Magnete, von denen der eine jeden Paares rechtzeitig durch einen Commutator umpolarisirt wird (Jacobi u. a.), oder auf der Anziehung von Eisenkernen in das Innere von Spiralen. (Page.)

Außerdem sind die Elektromagnete noch von mannichfacher Anwendung, vorzüglich bei der elektrischen Telegraphie. Leicht läßt sich durch einen solchen ein schnell intermittirender Strom hervorbringen, indem man es so einrichtet, daß durch die Anziehung des Ankers die Kette geöffnet, durch das dann erfolgende Zurückgehen des Ankers wieder geschlossen wird.

Um Stahlstäbe durch elektrische Spiralen zu magnetisiren, muß man sie in diesen hin und her führen, und überhaupt analog verfahren, wie beim Magnetisiren durch Magnetstäbe.

Auch der Entladungsschlag einer Batterie magnetisirt benachbarte Stahlstäbe (Kap. 17.), besonders wenn man ihn spiralförmig um diese herumführt.

Kap. 32. Von der elektrodynamischen und magnetoelektrischen Induction.

Nach Faraday's Entdeckung wird durch die Entstehung, Verstärkung oder Näherung eines elektrischen Stromes ein entgegengesetzt gerichteter, — durch Verschwinden, Schwächung oder Entfernung ein gleichgerichteter Strom in einem benachbarten parallelen, geschlossenen Leiter hervorgerufen oder inducirt. — Eben so inducirt ein Magnet in einem berachbarten geschlossenen Leiter beim Entstehen, Verstärken oder Nähern, oder beim Verschwinden, Schwächen oder Entfernen eines Poles Ströme von der einen oder der andern Richtung.

Am wirksamsten sind auch hier Drahtspiralen mit von einander isolirten Windungen.

Die Stärke des Inductionsstromes hängt von der Größe der Veränderung des inducirenden Stromes oder Magnetismus nach Lage und Stärke, von der Entfernung beider von einander und dem Widerstande des Leiters für den Inductionsstrom ab. Der Inductionsstrom ist immer schwächer als der inducirende, aber seine elektromotorische Kraft wächst mit der Länge der auf einander wirkenden Stromtheile. Deshalb kann man mit einem Strome von geringer elektromotorischer Kraft einen anderen von weit größerer induciren, z. B. wenn man durch eine Spirale von kurzem und dickem Drahte den Strom eines einzigen großen galvanischen Elementes gehen läßt, und sie mit einer Spirale von vielen Windungen umgiebt.

Dabei wird die Wirkung beträchtlich vermehrt, wenn man in die Spirale einen Eisenkern, noch mehr wenn man ein Bündel von Eisenstäbchen einschaltet.

Läßt man durch eine Drahtspirale einen Strom gehen, so wird bei Unterbrechung desselben, wenn die Enden der Spirale in leitender Verbindung bleiben, in der Spirale ein Strom inducirt ohne, oder stärker mit einem eingeschobenen Eisenkerne. Da der inducirte Strom weit größere elektromotorische Kraft haben kann, als der inducirende, so wird dieß zu Hervorbringung von Erschütterungen mit Hülfe eines einzigen galvanischen Elementes sehr vortheilhaft benutzt.

Durch gleiche Veränderung des Inductionsstromes oder des inducirenden Magneten nach Stärke oder Lage wird in einem benachbarten geschlossenen Leiter eine gleiche Menge Elektricität in Bewegung gesetzt; die Stromstärke vermehrt sich daher mit der Geschwindigkeit der Veränderung (z. B. Näherung oder Entfernung eines Magnet-Poles), die Stromdauer wird aber um so kürzer.

Die magnetoelektrischen Maschinen (Pixii, Saxton, Clarke, Stöhrer) geben einen elektrischen Strom, indem man geschlossene, mit Eisenkernen (Ankern) versehene Drahtspiralen abwechselnd dem einen und andern Pole eines Magneten nähert. Bei jedem Vorbeigange des Ankers mit seiner Spirale vor einem Magnetpole ändert sich die Richtung des Stromes, kann jedoch durch einen Commutator in dem Leiter, in welchem man den Strom benutzen will, in unveränderter Richtung erhalten werden.

Die Stromstärke hängt von der Stärke der Magnete ab und kann durch vorgelegte Hülfsanker geschwächt werden.

Dieselbe nimmt mit der Geschwindigkeit der Bewegung zu, jedoch bei großer Geschwindigkeit nicht proportional derselben. Die Stromumkehrung erfolgt nicht im Augenblick des Vorübergehens der Anker vor den Magnetpolen, sondern etwas später, was auf die beste Stellung des Commutators von Einfluß ist.

Mit der Windungsanzahl der Inductionsspiralen wächst die elektromotorische Kraft, aber auch der Leitungswiderstand des Inductionsstromes, weshalb bei großem accessorischen Leitungswiderstande dünnerer Draht mit mehr Windungen, bei geringem accessorischen Leitungswiderstande dickerer Draht mit weniger Windungen bessere Wirkung thut. Hat die magnetoelektrische Maschine, wie gewöhnlich, mehrere Magnetpole und mehrere Spiralen, so erhält man einen Strom von größerer elektromotorischer Kraft, aber auch größerem Leitungswiderstande, wenn man ihn durch die Spiralen hintereinander, dagegen von geringerer elektromotorischer Kraft und geringerem Leitungswiderstande, wenn man ihn durch die Spiralen nebeneinander gehen läßt. Man

pflegt die deshalb nöthigen Stellungen des Apparates die physiologische und die physikalische zu nennen.

Die stärksten momentanen Ströme giebt eine magnetoelektrische Maschine, wenn man den Strom in dem Augenblicke seiner größten Stärke unterbricht; dagegen werden continuirliche Ströme am stärksten erhalten, wenn der Commutator die Richtung in den Augenblicken der Umkehrung des Stromes in den Spiralen umsetzt.

Aus der magnetoelektrischen Induction erklären sich die Erscheinungen des sogenannten Rotationsmagnetismus (Arago), z. B. daß eine drehende Metallscheibe einen benachbarten Magnet nach der Richtung der Drehung ablenkt, und daß ein schwingender Magnet nahe über oder unter einer Metallmasse schneller zur Ruhe kommt, als ohne diese Masse, — was von Gauß zu den Dämpfern für Declinationsnadeln benutzt wurde, indem er letztere mit einem kupfernen Rahmen umgiebt.

Auch die Entladungsströme von Verstärkungsflaschen induciren in einem benachbarten geschlossenen Leiter Ströme, die ihrerseits wieder Rückwirkungen auf den ursprünglichen Entladungsstrom ausüben (Rieß).

Der Diamagnetismus wird (nach W. Weber) durch Induction von Molekularströmen hervorgebracht, die, einmal entstanden, ohne Schwächung fortdauern, so lange nicht äußere Einwirkungen sie wieder aufheben.

Kap. 33. Von der elektrischen Telegraphie.

Die fast verschwindend kleine Zeit, in der ein elektrischer Strom in Leitern von sehr großer Länge sich fortpflanzt, hatte schon früher die Idee erregt, mittelst desselben Zeichen in großen Entfernungen zu geben. Erst durch die magnetischen Wirkungen des elektrischen Stromes hat diese Idee praktische Ausführbarkeit erlangt.

Mit Hülfe eines Commutators kann man in einer Leitung beliebig den einen oder andern von zwei entgegengesetzten Strömen hervorbringen, dadurch aber zwei verschiedene Elementarzeichen geben und durch deren Wiederholung und Combination so viele verschiedene Zei-

chen erhalten, als man will und braucht. Deshalb genügt eine einzige Stromleitung für einen Telegraphen.

Ein elektrischer Telegraph besteht wesentlich aus dem Rheometer, der Leitung und dem Zeichen gebenden Apparate oder dem Indicator.

Als Rheometer wendet man in der Regel constante Batterien an; indessen sind auch magnetoelektrische Inductionsströme gebraucht worden. Die Stärke der Batterie hängt von dem Leitungswiderstande der Kette, dem nicht zu vermeidenden Verluste durch Ableitung und der Kraft ab, welche der Indicator bedarf. Für große Entfernungen hat man die außerdem erforderliche sehr große Stärke der Hauptbatterie durch Hülfsbatterien (Uebertrager, Localbatterien, Relais) zu beschränken vermocht, indem durch den Strom der Hauptbatterie nur die Hülfsbatterie in Thätigkeit gesetzt wird, und das eigentliche Zeichen giebt, wozu im Hauptleitungsdrahte eine verhältnißmäßig nur geringe Stromstärke erfordert wird.

Die Leitung wird durch einen Draht bewirkt, der aus Kupfer oder Eisen besteht, und in letzterem Falle einen im Verhältniß des größern Leitungswiderstandes des Eisens größeren Querschnitt haben muß. Es genügt aber ein einziger Draht, indem die Kette durch den Erdboden geschlossen werden kann. Dabei ist der Leitungswiderstand besonders bei großen Entfernungen weit geringer, als bei Anwendung eines zweiten Drahtes. Die Drahtleitung muß möglichst gut isolirt sein, wozu man verschiedene Maaßregeln ergreift, je nachdem sie in der Luft auf Stangen fortgeführt oder unter die Erdoberfläche gelegt wird. — Die Drahtleitungen sind störenden Einflüssen der atmosphärischen Elektricität ausgesetzt, die theils zu unbeabsichtigten Zeichen Veranlassung giebt, theils bei Gewittern Zerstörungen und Gefahr für Personen herbeiführt, wogegen eine Art Blitzableiter angewendet wird.

Als Indicator hat man einfache, mit Multiplicatorwindungen umgebene Magnetnadeln benutzt, die bei Schließung der Kette von dem Strome nach der einen oder anderen Seite abgelenkt werden. Gewöhnlicher bedient man sich der Elektromagnete, die bei Schließung der Kette ihren Anker anziehen, wogegen er bei Oeffnung durch eine Feder wieder zurückgezogen wird, dadurch aber die Zeichen gegeben werden. Am bewährtesten und verbreitetsten ist das System von Morse, bei welchem der angezogene Anker auf einem unter ihm sich fortbewegenden Papierstreifen einen Eindruck macht, der entweder in einem Punkte oder einem Striche besteht, je nachdem man die Kette auf einen Augenblick oder auf etwas längere Zeit schließt.

Die genaue Ermittelung der Differenz der geographischen Länge zweier Orte ist durch elektrische Telegraphen bewirkt worden, und die Anwendung des elektrischen Stromes zu Herstellung vollkommen übereinstimmend gehender Uhren und zu Messung kleiner Zeittheile durch das Chronoskop (Hipp) stehen mit der Telegraphie in nahem Zusammenhange.

Kap. 34. Von den thermischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Geht ein elektrischer Strom, dessen Stärke = S, durch einen Leiter vom Widerstand = l, so entwickelt er in diesem Leiter eine Wärmemenge, welche proportional $S^2 l$ ist (Joule, Lenz, für Flüssigkeiten E. Becquerel); und nach den Messungen von Lenz ist die Wärmemenge, welche in einer Minute entwickelt wird, $= 0{,}0000176\ S^2 l$, wobei die Wärmeeinheit die zu Erwärmung von 1^{kg} Wasser um 1^0 C. erforderliche Wärmemenge, die Einheit von S die Stromstärke, welche in 1 Minute 1^{cc} Knallgas liefert, und die Einheit von l der Widerstand von 1^m Kupferdraht von 1^{mm} Durchmesser ist.

Auch für den Entladungsschlag einer Verstärkungsflasche ist (nach Rieß) die Wärmeerregung proportional $S^2 l$, nur hat darauf die Größe der Batterieoberfläche, so wie jeder Umstand Einfluß, der die Dauer der Entladung verändert.

Die Temperaturerhöhung eines Leiters hängt von der in ihm erzeugten Wärmemenge, von seinem Querschnitte, seiner specifischen Wärme und von dem Wärmeverluste, den er erleidet, ab. Nach Müller werden Drähte derselben Substanz zu demselben Grade des Glühens gebracht, wenn die Stromstärken sich wie die Durchmesser der Drähte verhalten, und nach, begreiflich nur angenäherter, Schätzung tritt Rothglühen ein, wenn die Stromstärke

bei Platin = 172 d
" Eisen = 135 d
" Kupfer = 433 d

beträgt, wobei d den Durchmesser des Drahtes in Millimetern bedeutet.

Das Erglühen von Drähten durch den galvanischen Strom hat man benutzt, um Pulver in der Entfernung zu entzünden (Roberts, Schmidhuber). Sollen mehrere Pulvermassen gleichzeitig entzündet werden, so darf man den Strom nicht hinter einander durch dieselben

leiten, sondern muß ihn theilen und durch jede Pulvermasse einen Zweig führen.

Leitet man einen elektrischen Strom durch zwei Leiter, die beide, oder von denen einer in der Berührung zugespitzt, so erwärmen sich die Spitzen, und zwar die positive mehr als die negative. Ist der Strom stark genug, so kann man beide Leiter etwas von einander entfernen, ohne daß der Strom unterbrochen wird, indem von dem positiven Pole verflüchtigte Theile zum negativen übergeführt werden, dabei aber einen leitenden Lichtbogen herstellen, dessen Lichtintensität die jeder andern künstlichen Lichtquelle übertreffen kann. Je stärker der Strom und leichter die Substanz der Anode zu verflüchtigen ist, um so größer kann man den Lichtbogen erhalten, daher am besten zwischen Kohlenspitzen, größer mit oxydirbaren leichtflüchtigen Metallen, als mit Gold oder Platin. Dieser Lichtbogen verhält sich gegen einen Magnetpol, wie ein leicht beweglicher Leiter. Die dabei zu erreichende Temperatur ist die höchste, die man hervorbringen konnte (Despretz u. a.).

Soll zwischen zwei Leitern ein Volta'scher Lichtbogen entstehen, so muß der Strom zuvörderst durch wirkliche Berührung derselben eingeleitet werden; dasselbe kann aber auch durch einen elektrischen Entladungsfunken geschehen, den man zwischen den beiden bis auf eine hinlänglich kleine Entfernung genäherten Leitern überschlagen läßt.

Die Benutzung des zwischen Kohlenspitzen durch den galvanischen Strom erzeugten Lichtes beschränkt sich auf die Fälle, in denen es vortheilhaft ist, eine auf einen sehr kleinen Raum eingeschränkte, höchst intensive Lichtquelle zu erhalten.

Der Funke, welcher beim Oeffnen einer elektrischen Kette erhalten wird, ist zum Theil durch das Erglühen, auch in einigen Fällen durch das Verbrennen der letzten vor der Trennung sich berührenden Theilchen hervorgebracht, — zum Theil widerspricht jedoch die Art seiner Erscheinung dieser Annahme (Neeff).

Kap. 35. Theorie der chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Da der elektrische Strom die durch die stärksten chemischen Verwandtschaftskräfte verbundenen Bestandtheile einer Substanz zu trennen vermag (Kap. 20.), so existirt ohne Zweifel ein inniger Zusammenhang zwischen den Wirkungen der chemischen Verwandtschaft und des elektrischen Stromes.

Die consequent durchgeführte Contacttheorie nimmt an, daß die kleinsten Theile zweier chemisch einfachen Substanzen, wenn sie in hinreichende Nähe kommen, eben so durch den Contact entgegengesetzt elektrisch werden, wie wir das zwischen heterogenen Metallen beobachten, — und sich in Folge davon anziehen, festhalten, zu einem zusammengesetzten Atome vereinigen. Die chemische Verwandtschaft zweier verschiedenartiger Atome wird dadurch auf die Anziehung entgegengesetzt elektrischer Körper zurückgeführt. Sämmtliche einfache Substanzen bilden eine Spannungsreihe, in welcher der Sauerstoff am negativen Ende steht, worauf Chlor, Schwefel u. a. folgen, Wasserstoff (?) das positive Ende bildet, und ihm sich die Metalle der Alkalien und dann andere leicht oxydirbare Metalle anreihen. Zusammengesetzte Substanzen bilden vorzugsweise nach dem Grade ihrer Zusammensetzung besondere Reihen, wie sie sich auch vorzugsweise nur unter einander zu noch höheren Ordnungen verbinden. In jeder binären Verbindung ist der eine Bestandtheil der negative oder das Anion, der andere der positive oder das Kation, woraus sich von selbst ergiebt, daß dieselbe Substanz als negativer und als positiver Bestandtheil erscheinen kann, je nachdem sie sich mit einem mehr positiven oder mehr negativen verbindet.

Läßt man einen elektrischen Strom durch eine chemische Verbindung, die hinlänglich leitet und deren Theile große Beweglichkeit haben, was sich nur bei tropfbaren Flüssigkeiten vereinigt findet, hindurchgehen, so neutralisirt die positive Elektricität der Anode die negative des einen, die negative der Kathode die positive des andern Bestandtheiles, die chemische Verwandtschaft wird aufgehoben, jeder der beiden Bestandtheile an einer der Elektroden abgeschieden, zwischen letzteren aber eine beständige Trennung und Wiedervereinigung der Bestandtheile bewirkt.

Elektrolyte, welche aus gleichen Aequivalenten ihrer Bestandtheile zusammengesetzt sind, werden durch einen Strom von gegebener Stärke so zerlegt, daß in derselben Zeit gleich viele Aequivalente aus ihnen austreten, oder die Gewichtsmengen der durch einen gegebenen Strom in gegebener Zeit zerlegten Elektrolyte und ausgeschiedenen Jonen verhalten sich wie ihre chemischen Aequivalentgewichte, was das Gesetz der festen elektrolytischen Action von Faraday ausmacht.

Da ein Strom von der Stärke = S in 1 Minute 0,5 $S^{mgr.}$ Sauerstoff aus dem Wasser entwickelt, so beträgt die in derselben Zeit von demselben Strome zerlegte Menge eines anderen Elektrolyten oder ausgeschiedene Menge eines Jon von dem Aequivalentgewicht w (auf O = 100 bezogen) 0,005 $Sw^{mgr.}$.

Da die Größe der Zersetzung von der Stromstärke, also eben sowohl von dem Leitungswiderstande, als von der elektromotorischen Kraft der Kette abhängt, so können Ketten von geringer elektromotorischer Kraft (z. B. Thermoketten) wenig oder keine chemische Wirkung hervorbringen, weil das einzuschaltende Elektrolyt einen verhältnißmäßig zu großen Leitungswiderstand in die Kette bringt, auch wohl die Polarisation der Elektroden der ursprünglichen elektromotorischen Kraft das Gleichgewicht hält. Auf der andern Seite kann die geringe Stromstärke trockner Säulen oder der Reibungselektricität auch nur Spuren von Zersetzung bewirken.

Aus Verbindungen, die von dem einen Bestandtheil mehrere Aequivalente enthalten, wird oft nur ein Theil davon ausgeschieden, z. B. Salpetersäure zerfällt in Stickoxyd und Sauerstoff. Werden aus solchen Verbindungen die Bestandtheile vollständig getrennt, so wird von dem einen so viel ausgeschieden, als obiges Gesetz verlangt, von dem andern aber in dem Verhältnisse mehr oder weniger, als mehr oder weniger Aequivalente in die Verbindung mit einem des ersten Bestandtheiles eingegangen waren, z. B. Kupferchlorür, Cu^2Cl, giebt 1 Cl und 2 Cu; Antimonchlorid, Sb^2Cl^3, giebt 1 Cl und $\frac{2}{3}$ Sb; Wasserstoffsuperchlorid, HO^2, giebt 1 H und 2 O. (E. Becquerel.)

In Auflösungen von Sauerstoffsalzen wird in der Regel gleichzeitig 1 Aeq. Salz und 1 Aeq. Wasser zerlegt, was sich durch Annahme der Theorie der Wasserstoffsäuren erklären läßt. Vielleicht findet dadurch auch die so häufig vorkommende Thatsache ihre Erklärung, daß die Leitungsfähigkeit und mithin Zersetzbarkeit des Wassers durch einen Säurezusatz so sehr vermehrt wird.

Es folgt aus dem Vorigen, daß in einer galvanischen Kette in jedem Elemente die Zersetzung des feuchten Leiters und der Angriff des positiven Metalles proportional der Stromstärke in gegebener Zeit sein muß. Daher ist der Verbrauch an Zink in den gebräuchlichsten Säulen proportional der Anzahl der Elemente, weshalb man, abgesehen von andern Rücksichten, eine unnöthige Vermehrung dieser Anzahl zu vermeiden sucht.

Kap. 36. Ueber die chemische Theorie des galvanischen Stromes.

In einer gewöhnlichen galvanischen (hydroelektrischen) geschlossenen Kette muß sich zwischen den beiden heterogenen Leitern erster

Classe nothwendig ein Leiter zweiter Classe, d. h. eine zersetzbare Flüssigkeit befinden, und es entsteht ein Strom nur, wenn wirklich eine Zerlegung dieses Elektrolyten in seine Bestandtheile stattfindet, und die Stärke des Stromes ist dieser Zerlegung proportional. — Die chemische Theorie sieht als Ursache des Stromes die verschiedene chemische Verwandtschaft der Bestandtheile des Elektrolyten zu den beiden heterogenen Elektroden an. Vorzugsweise der negative Bestandtheil (Sauerstoff, Salzbilder, Säure) verbindet sich mit der mehr positiven Elektrode (Anode), und giebt an diese die mit ihm verbunden gewesene negative Elektricität ab, wogegen die positive Elektricität mit dem positiven Bestandtheile an die negative Elektrode (Kathode) geht. Innerhalb des metallischen Schließungsbogens vereinigen sich fortwährend die beiden Elektricitäten wieder, und es entsteht ein elektrischer Strom so lange, als die Zersetzung zwischen den Elektroden fortdauert. Ist die Verwandtschaft der Bestandtheile des Elektrolyten zu den festen Leitern nicht groß genug, um eine Verbindung des einen mit einer Elektrode zu bewirken, tritt daher keine Zersetzung des Elektrolyten und kein Angriff einer Elektrode ein, so entsteht auch kein Strom, und gewöhnlich wird letzterer um so stärker, je größer die chemische Verwandtschaft und je stärker daher der Angriff ist. Zwei heterogene Metalle können mit verschiedenen Flüssigkeiten Ströme von entgegengesetzter Richtung geben (Eisen ist negativ gegen Kupfer in Schwefelkalium, Silber positiv gegen Eisen in Cyankalium u. s. w.), und ein einziges Metall kann in zwei Flüssigkeiten (Platin in Kalilösung und Salpetersäure, die zweigliedrige Kette von Becquerel) einen kräftigen Strom hervorbringen, in welchem Falle die chemische Theorie die Elektricitätsentwickelung von der chemischen Einwirkung der beiden Flüssigkeiten auf einander ableitet.

Die Contacttheorie erklärt einen Theil dieser ihr scheinbar widersprechenden Thatsachen durch die, in vielen Fällen nachweisbare, Polarisation der Elektroden, deren Oberfläche in der Berührung mit verschiedenen Flüssigkeiten verschiedene Beschaffenheit, und daher ein verschiedenes elektromotorisches Verhalten annimmt. Die Verstärkung des Stromes bei stärkerem chemischen Angriff hat ihren Grund in einer Verminderung des Leitungswiderstandes des Elektrolyten, nicht in einer Vermehrung der elektromotorischen Kraft, in so fern die Oberfläche der Elektromotore nicht verändert wird, wie Messungen und unter andern auch das Fechner'sche Experiment (Kap. 26.) zeigen. In einer mehrelementigen offenen Kette oder Volta'schen Säule ohne

lokale Action ist elektrische Spannungsdifferenz vorhanden, aber keine chemische Wirkung, die erst beim Schluß der Kette durch den Strom hervorgebracht wird. Durch den Contact kann die chemische Wirkung verändert werden, — so wird Kupfer in Salpetersäure stark angegriffen, reines oder amalgamirtes Zink in verdünnter Schwefelsäure nicht; bringt man aber durch eine poröse Scheidewand die beiden Säuren, und außerhalb derselben Kupfer und Zink in Contact, so wird das Zink, nicht aber das Kupfer angegriffen, und an letzterem schlägt sich das bereits aufgelöste Kupfer wieder metallisch nieder (Berzelius).

In den thermoelektrischen und magnetoelektrischen Strömen haben wir Beispiele von Stromerregung ohne Mitwirkung der chemischen Verwandtschaft.

Kap. 37. Anwendungen der chemischen Wirkungen des elektrischen Stromes.

Wenn aus Auflösungen des Salzes eines mehr negativen Metalles dieses durch ein mehr positives gefällt wird, so entsteht ein elektrischer Strom, hervorgebracht durch das gefällte Metall als Kathode und das fällende als Anode, der die Fällung befördert und auf größere Entfernungen vom fällenden Metall fortsetzen kann. Wahrscheinlich werden auch schon die ersten Anfänge der Fällung durch, wenn auch sehr geringe, Differenzen in der Oberflächenbeschaffenheit des fällenden Metalles und dadurch entstehende elektrische Ströme bewirkt.

Die Beförderung des Angriffes eines Metalles von einer Säure durch einen geringen Niederschlag eines negativeren Metalles ist oft sehr beträchtlich. Wird u. a. Zink nicht oder nur wenig von einer Säure angegriffen, so erfolgt ein lebhafter Angriff, wenn etwas Kupfer-, besser noch Platinsalzsolution zugesetzt wird, was man zuweilen zur Wasserstoffentwickelung benutzt.

Bringt man ein Metall in Berührung mit einem mehr positiven, so wird es vor dem Angriff einer Flüssigkeit, die es sonst angreifen würde, geschützt. Ist auch der Vorschlag von H. Davy, das Kupferbeschläge der Seeschiffe auf diese Weise durch Zink zu schützen, nicht ausführbar gewesen, weil an das sich nicht oxydirende Kupfer sich Seethiere in großer Menge ansetzen, so ist doch nicht selten von einem solchen Schutze eines Metalles Anwendung zu machen. Galvanisirtes Eisen.

Die Ueberzüge, die man von einem Metalle auf einem anderen positiveren erhält, indem man dieses in die Auflösung eines Salzes von jenem taucht, haften niemals fest; will man einen gut haftenden Ueberzug eines Metalles auf einem anderen herstellen, so ist Bedingung, daß bei dem Niederschlage kein Angriff des zu überziehenden Metalles erfolge, was einestheils erreicht wird, indem man das letztere zur Kathode eines außerhalb erregten Stromes macht, anderntheils, indem man das niederzuschlagende Metall in einer Auflösung anwendet, die das zu überziehende nicht angreift. Letztere Bedingung ist besonders durch die Anwendung des Cyankaliums als Auflösungsmittel (Elkington und de Rüolz) erreicht worden, indessen werden auch rein alkalische und einige andere Auflösungsmittel gewählt. — Vorzugsweise wird auf diese Weise vergoldet und versilbert. Ersteres erfordert einen Strom von etwas größerer elektromotorischer Kraft (3 Daniell'sche Elemente), als letzteres. Man bringt den sehr sorgfältig gereinigten zu überziehenden Gegenstand als Kathode in die Flüssigkeit, und leitet den Strom durch eine Anode von Platin, oder bei fortgesetzten Arbeiten besser von demselben Metalle, welches man niederschlagen will, ein. Bei Anwendung des niederzuschlagenden Metalles als Anode löst sich so viel davon auf, als sich an der Kathode niederschlägt, und die Flüssigkeit bleibt von unverändertem Gehalte. — Als Rheomotor dienen dabei nicht selten magnetoelektrische Maschinen. — Häufig wendet man auch die sogenannte einfache Contactvergoldung an, indem man mit dem zu vergoldenden Gegenstande Zink metallisch verbindet, und beides in die Auflösung des Kaliumgoldcyanids taucht (Frankenstein).

Die Concentration und die Temperatur der Flüssigkeit haben auf den Erfolg wesentlichen Einfluß, weshalb deren zweckmäßigste Wahl unter den übrigen gegebenen Umständen zu ermitteln ist.

Aus manchen Metallauflösungen, z. B. von Blei, Mangan, besonders auch aus einer Auflösung von Bleioxyd in Kali, schlagen sich beim Hindurchleiten eines Stromes an der Anode Superoxyde nieder, die anfänglich bei hinreichend geringer Dicke die Farben dünner Blättchen zeigen, was man zur Färbung von Metallen benutzt. Besteht die Kathode dabei in einer Spitze, so bilden sich die den Newtonischen ganz analogen Nobilischen Farbenringe; schwieriger ist die Hervorbringung einer gleichförmigen Färbung.

Die Galvanoplastik, eine Erfindung von Jacobi (und Spencer), beruht auf der galvanischen Bildung eines so dicken Kupferüberzuges auf einer leitenden Oberfläche, daß man ihn nachher abnehmen kann, wobei er die Unebenheiten der Fläche, auf welcher er sich ablagerte, bis in die feinsten Details wiedergiebt. Als Flüssigkeit dient eine Auflösung von Kupfervitriol, in welche man den zu copirenden Gegenstand bringt, indem man ihm entweder ein in verdünnter Schwefelsäure oder Kochsalz- oder Glaubersalzlösung eingetauchtes und durch eine poröse Scheidewand (Blase) von der Kupfervitriollösung getrenntes, außerhalb aber mit ihm metallisch verbundenes Stück Zink, — oder eine Kupferplatte entgegenstellt, die man zur Anode des Stromes eines einfachen Daniell'schen Elementes macht, während die zu überziehende Fläche die Kathode bildet. Die Kupfervitriollösung wird vortheilhaft etwas angesäuert, muß aber concentrirt sein, was sich bei Anwendung einer Kupferanode von selbst erhält, wogegen man bei unmittelbarem Gegenüberstellen von Zink durch eingehängte Kupfervitriolkrystalle dafür Sorge zu tragen hat. — Die Stromstärke muß regulirt werden, indem das sich niederschlagende Kupfer bei zu starkem Strome nicht fest zusammenhängt, bei zu schwachem zu krystallinisch wird. — Die zu überziehende Oberfläche muß zwar rein, jedoch nicht ganz vollkommen metallisch sein, weil sonst der Niederschlag leicht mit der Basis fest zusammenwächst, besonders wenn diese selbst Kupfer ist, weshalb es gut ist, die Oberfläche nach vollkommener Reinigung mit etwas Fett zu überziehen und dieses wieder abzuwischen.

Sollen nicht leitende Oberflächen galvanoplastische Ueberzüge erhalten, so müssen sie leitend gemacht werden, was durch Graphit, Silberbronce und andere Ueberzüge geschieht.

Oft nimmt man von den nachzubildenden Gegenständen erst Abgüsse in Gyps, Wachs, Stearin, Guttapercha, leichtflüssigem Metall u. a., und schlägt auf diesen das Kupfer nieder.

Eine besondere Abart der Galvanoplastik ist die durch v. Kobell angegebene Galvanographie; — und in umgekehrter Anwendung des elektrischen Stromes hat man Kupferplatten, indem man sie zur Anode machte, in Flüssigkeiten, in denen sie sonst nicht angegriffen wurden, geätzt.

Der Vorschlag von Becquerel, Metalle aus ihren Erzen durch den galvanischen Strom zu gewinnen, hat keine praktische Ausführung erhalten, obwohl die Gewinnung des Cementkupfers und die Entsilbe-

rung der Erze durch Amalgamation schon Anwendungen der chemischen Wirkung des elektrischen Stromes sind.

Läßt man sehr schwache Ströme längere Zeit hindurch einwirken, so erhält man oft größere und deutliche Krystalle von Substanzen, die man außerdem nicht krystallisirt herzustellen vermag (Becquerel), und es ist nicht unwahrscheinlich, daß namentlich auf Erzgängen die Natur sich dieses Mittels bei Erzeugung vieler Krystalle bedient habe.

Vierter Abschnitt.

Optik.

Kap. 38. Vom Lichte und seinen Wirkungen im Allgemeinen.

Licht nennen wir dasjenige, was die Eindrücke entfernter Gegenstände auf unseren Gesichtssinn vermittelt.

Außer dieser Hauptwirkung des Lichtes übt es auch noch andere, namentlich chemische Wirkungen aus, die hier nicht weiter berücksichtigt werden.

Ueber die Natur des Lichtes hat man besonders die Emanations- (Newton) und die Undulations- (Huyghens, Euler, Young, Fresnel, Cauchy) Hypothese aufgestellt, von denen der letzteren jetzt entschieden der Vorzug gegeben wird. Ihr zufolge nimmt man einen allgemein verbreiteten Aether, eine unwägbare, höchst elastische Materie, an, der durch jeden sichtbaren Punkt in Schwingungen versetzt wird, die, indem sie unser Auge treffen, die Empfindung des Sehens hervorbringen.

Die Körper theilen sich in selbstleuchtende und dunkele, welche erst dadurch sichtbar werden, daß das von anderen Körpern ausgehende Licht auf sie fällt, und von ihnen zurückgeworfen wird. Diese Zurückwerfung des Lichtes kann regelmäßig nach einer bestimmten Richtung erfolgen, was Gegenstand des folgenden Kapitels ist, — oder sie kann nach allen Seiten hin geschehen, was Diffusion ge-

nannt wird, und die Ursache der Sichtbarkeit eines an sich dunkeln, aber erleuchteten Körpers nach allen Seiten hin bildet.

Die Oberfläche eines Körpers ist heller oder dunkler, in je größerem oder geringerem Verhältnisse sie auf sie fallendes Licht diffus zurückzuwerfen vermag. Wenn sie gar kein Licht unregelmäßig reflectirt, so heißt sie schwarz.

Die Räume, durch welche das Licht sich fortzupflanzen vermag, heißen durchsichtige Mittel; die Körper, welche kein Licht durch sich hindurchlassen, undurchsichtig. Beim Uebergange des Lichtes aus einem Mittel in ein anderes wird es immer durch theilweise Reflection geschwächt, es erleidet aber auch im Innern jedes Körpers eine Schwächung durch Absorbtion, weil kein Körper vollkommen durchsichtig ist. Eben so giebt es auch wohl keinen absolut undurchsichtigen Körper. Zwischen den fast vollkommen durchsichtigen und den so gut als vollkommen undurchsichtigen Körpern stellen sich die halbdurchsichtigen und durchscheinenden.

So lange das Licht in einem unveränderten Mittel sich fortpflanzt, geschieht diese Fortpflanzung geradlinig. Jede Linie, in welcher Licht sich fortpflanzt, heißt ein Lichtstrahl.

Die von einem Punkte ausgehenden Lichtstrahlen können divergent, parallel oder convergent sein. Ursprünglich immer divergent werden sie bei geradliniger Fortpflanzung in unendlicher Entfernung parallel, und es können in der Optik schon übrigens mäßige Entfernungen für unendlich genommen werden. Durch künstliche Mittel vermag man die von einem Punkte ausgehenden Strahlen convergent zu machen, und überhaupt ihre gegenseitige Richtung zu ändern.

Aus den Verfinsterungen der Jupitersmonde erkannte Römer, daß die Fortpflanzung des Lichtes Zeit bedarf, und die Aberration der Fixsterne wurde von Bradley aus derselben Ursache erklärt. Die Geschwindigkeit der Lichtfortpflanzung im leeren Raume beträgt 41518 geographische Meilen.

Die Intensität des von einem Punkte ausgehenden Lichtes ist den Quadraten der Entfernung umgekehrt proportional; die Intensität des eine Fläche treffenden Lichtes verhält sich wie der Cosinus des Einfallswinkels.

Finsterniß heißt die gänzliche Abwesenheit von Licht, Schatten der Raum, in welchen das von einer leuchtenden Fläche ausgehende Licht nicht unmittelbar gelangt. Hat diese leuchtende Fläche eine nicht zu vernachlässigende Ausdehnung, so geht der vollkommene

oder Kernschatten in die volle Beleuchtung durch den Halbschatten über, der sich um so mehr ausdehnt, je weiter man ihn von dem Schatten gebenden Körper, dem Schirme, auffängt. Ein Schatten auf einer weißen Fläche aufgefangen erscheint um so dunkler, je heller das ihn hervorbringende Licht ist. Darauf beruht Rumford's Photometer.

Die scheinbare Größe, auch sichtbare Größe oder Sehwinkel, einer Graden ist der Winkel, den die von ihren Endpunkten nach unserem Auge gezogenen geraden Linien einschließen. Aus der scheinbaren Größe und der Entfernung eines Gegenstandes, die wir aus der Deutlichkeit desselben und nach den zwischen ihm und uns liegenden anderen Gegenständen beurtheilen, schließen wir auf seine absolute Größe, jedoch nur bei einigermaßen nahen Gegenständen mit einiger Sicherheit, wogegen uns, bei großer oder unbekannter Entfernung, aus der scheinbaren Größe ein Schluß auf die absolute nicht möglich ist. Durch Rechnung findet man die absolute Größe aus der gemessenen scheinbaren Größe und Entfernung, z. B. bei Sonne, Mond und Planeten, und die Entfernung aus der gemessenen scheinbaren und bekannten absoluten Größe, z. B. bei den Distanzmessern.

Kap. 39. Von der regelmäßigen Reflection oder Katoptrik.

Jede Grenzfläche zweier Mittel, auf welche Licht fällt, sendet dasselbe regelmäßig nach bestimmten Richtungen zurück, wenn sie polirt ist, d. h. wenn die kleinen Unebenheiten jeder körperlichen Oberfläche unter ein gewisses Maaß herabgebracht sind, und heißt dann ein Spiegel, um so vollkommner, je glatter sie ist.

Man hat Metall- und Glasspiegel; die gewöhnlichen gehören durch ihr Belege der ersteren Art an.

Zu unterscheiden sind ebene und gekrümmte Spiegel.

Ebene Spiegel.

Das allgemeine Gesetz der Katoptrik ist: der zurückgeworfene Strahl bleibt in der Einfallsebene und der Zurückwerfungswinkel ist dem Einfallswinkel gleich.

Wenn daher Strahlen von einem Punkte auf einen ebenen Spiegel fallen, so werden sie so reflectirt, daß sie von einem Punkte hinter der Spiegelebene auszugehen scheinen und dieser Punkt heißt das Spiegelbild. Um seine Lage zu finden, fälle man eine Normale von

dem leuchtenden Punkte auf die Spiegelebene, und verlängere sie über dieselbe hinaus eben so weit, als die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Spiegelebene beträgt. Von einem leuchtenden Gegenstande findet man die Lage des Spiegelbildes, wenn man die seiner einzelnen Punkte bestimmt.

Der Parallelismus, die Divergenz oder die Convergenz der auf einen ebenen Spiegel fallenden Strahlen bleiben bei der Zurückwerfung ungeändert.

Ein Spiegelbild kann selbst wieder für einen zweiten Spiegel den leuchtenden Gegenstand vertreten, und mit zwei Spiegeln, die um 90, 60, 45 zc. Grad gegen einander geneigt sind, sieht man einen dazwischen gebrachten Gegenstand 4, 6, 8 zc. Mal, worauf das Kaleïdoskop beruht.

Von den mannichfachen Anwendungen der ebenen Spiegel seien die Gaußische Spiegelvorrichtung zu Messung kleiner Winkelbewegungen, der künstliche Horizont, das Goniometer, der Spiegelsextant, das Dipleïdoskop erwähnt.

Das Heliostat dient bei optischen Versuchen dazu, Sonnenstrahlen von unveränderlicher Richtung durch einen von einem Uhrwerke der scheinbaren Bewegung der Sonne angemessen gedrehten Spiegel zu erhalten. Es ist sehr einfach mit zwei, complicirter mit einem einzigen Spiegel herzustellen.

Gekrümmte Spiegel.

Das katoptrische Hauptgesetz gilt unverändert, aber die gegenseitige Richtung der auffallenden Strahlen ändert sich. Nur regelmäßig gekrümmte Oberflächen sind zu berücksichtigen, und unter diesen vorzugsweise die sphärischen, indem Cylinder- und Kegelspiegel nur unbeträchtliche Anwendung finden.

Die sphärischen Spiegel sind entweder concave oder convexe; jene heißen auch Sammel- oder Brennspiegel, weil parallel auf sie fallende Lichtstrahlen von ihnen convergent reflectirt werden; diese Zerstreuungsspiegel, weil sie parallele Lichtstrahlen divergent machen. Bei sphärischen Spiegeln nennt man die Grade, welche den Mittelpunkt der Krümmung mit der Spiegelmitte verbindet, die Axe; den Winkel, den die aus dem Mittelpunkt der Krümmung nach zwei diametral entgegengesetzten Randpunkten gezogenen Halbmesser einschließen, die Oeffnung; jeden Lichtstrahl, der durch den Mittelpunkt der Krümmung auf den Spiegel fällt, einen Hauptstrahl.

Jeder Hauptstrahl wird in sich selbst reflectirt.

Von einem Hohlspiegel werden parallel auffallende Strahlen so reflectirt, daß sie sich in einem Punkte des Hauptstrahles schneiden, der in der Mitte zwischen dem Krümmungsmittelpunkt und der Spiegeloberfläche liegt und der Brennpunkt heißt. Der Brennpunkt für die der Axe parallel auffallenden Strahlen heißt der Hauptbrennpunkt. — Die Vereinigung paralleler Strahlen im Brennpunkte ist nur genau für die dem Hauptstrahle unendlich nahen, und wird um so ungenauer, je größer der Bogen ist, der zwischen dem Einfallspunkt eines Strahles und dem Einfallspunkt des Hauptstrahles liegt. Die daraus entstehende Abweichung der Wirkung eines Hohlspiegels von der beabsichtigten heißt die sphärische Aberration. Sie ist um so größer, je größer die Oeffnung des Spiegels, weshalb für genaue optische Instrumente nur Spiegel von geringer Oeffnung brauchbar sind.

Für Beleuchtungsspiegel, die eine große Oeffnung haben müssen, wendet man zweckmäßig parabolische an.

Nähert sich der leuchtende Punkt dem Spiegel, und werden dadurch die von ihm auf den Spiegel fallenden Strahlen divergent, so vereinigen sie sich in größerer Entfernung vom Spiegel, als der Brennpunkt hat; — gehen sie vom Brennpunkte aus, so werden sie parallel zurückgeworfen, und kommen sie von einem dem Spiegel noch näher liegenden Punkte, so bleiben sie auch nach der Reflection divergent, jedoch weniger als vorher.

Ein unendlich entfernter Gegenstand giebt ein umgekehrtes kleines Bild im Brennpunkte; nähert sich der Gegenstand, so wird das Bild größer und entfernt sich vom Spiegel. Diese Bilder können auf weißen Flächen wirklich aufgefangen werden. — Befindet sich der leuchtende Gegenstand im Brennpunkte, so giebt er kein Bild mehr; ist er dem Spiegel noch näher, so giebt er ein aufrechtes und vergrößertes Spiegelbild.

Die convexen Spiegel, von geringerer Wichtigkeit, machen alle auf sie fallenden Strahlen divergenter, als sie vorher waren, geben daher von jedem Gegenstande nur ein Spiegelbild, welches aufrecht und verkleinert erscheint.

Kap. 40. Von der Brechung (Refraction) oder Dioptrik.

Beim Uebergange eines Lichtstrahles aus einem Mittel in ein anderes ändert er seine Richtung; er wird gebrochen.

Das dabei geltende, von Descartes aufgefundene, Hauptgesetz ist: der gebrochne Strahl bleibt in der Einfallsebene, und das Verhältniß des Einfallssinus zum Brechungssinus ist ein constantes.

Heiße daher der Einfallswinkel $= \alpha$, der Brechungswinkel $= \beta$, so ist $\frac{\sin. \alpha}{\sin. \beta} = n$ für dieselben Mittel eine constante Größe, und heißt das Brechungsverhältniß dieser Mittel. Es ist $n > 1$, wenn der Lichtstrahl aus dem schwächer brechenden in das stärker brechende Mittel übergeht, und $n < 1$ im entgegengesetzten Falle. Ein Mittel ist um so stärker brechend, je dichter es ist; indessen hat die chemische Beschaffenheit darauf auch großen Einfluß.

Giebt man die Größe von n für ein einzelnes Mittel an, wie gewöhnlich geschieht, so wird darunter das Brechungsverhältniß zwischen dem leeren Raume und diesem Mittel verstanden, wovon auch das zwischen Luft und Mittel nur wenig verschieden ist. In diesem Falle ist immer $n > 1$.

Das Brechungsverhältniß des Wassers ist ohngefähr $\frac{4}{3}$, das des gewöhnlichen Glases $\frac{3}{2}$.

Nur Mittel mit polirten Oberflächen können das Licht regelmäßig brechen.

Normal einfallende Strahlen werden nicht gebrochen.

Aus einem schwächer in ein stärker brechendes Mittel können Lichtstrahlen unter jedem Einfallswinkel übergehen; für den Uebergang aus einem stärker in ein schwächer brechendes Mittel giebt es aber einen Grenzwerth des Einfallswinkels, $\sin. \alpha = n$, über welchen hinaus keine Refraction stattfinden kann, wogegen totale Reflection eintritt, die auch nicht selten, wie bei den Prismenspiegeln, der Camera lucida, benutzt wird.

Jeder aus dem allgemeinen Raume in unsere Atmosphäre dringende, nicht aus dem Zenith kommende Strahl wird von seiner Richtung abgelenkt, was die atmosphärische Refraction bewirkt.

Ein Planglas, d. h. ein von zwei parallelen Ebenen begrenztes durchsichtiges Mittel, verändert nicht die Richtung der hindurchgehenden Lichtstrahlen, und einen unendlich entfernten Gegenstand sieht man durch dasselbe unter allen Einfallswinkeln an seiner wahren Stelle.

Ein belegter ebener Glasspiegel giebt, besonders bei großem Einfallswinkel, eine ganze Reihe von Bildern von abnehmender Helligkeit.

Ein mechanisches Gemenge durchsichtiger Körper von verschiedener Brechbarkeit kann nicht durchsichtig sein.

Unter **Prisma** versteht man in der Optik jedes brechende Mittel mit zwei ebenen, gegen einander geneigten Oberflächen, durch welche ein Lichtstrahl ein- und austritt. Die Durchschnittslinie beider Flächen heißt die **Kante**, und ihre Neigung der **brechende Winkel** des Prisma. Ein durch ein Prisma gehender Lichtstrahl wird von seiner ursprünglichen Richtung, und zwar von der Kante weg, abgelenkt, um so mehr, je größer die Brechkraft der Substanz und je größer der brechende Winkel des Prisma ist. Bei einerlei Prisma hängt aber die Ablenkung auch von dem Einfallswinkel ab, und ist ein Minimum, wenn der Lichtstrahl im Innern des Prisma gegen die Ein- und Austrittsebene gleich geneigt ist. Für diese Stellung, die sich leicht mit hinreichender Genauigkeit finden läßt, ist das Brechungsverhältniß der Prismensubstanz

$$n = \frac{\sin. \frac{D + g}{2}}{\sin. \frac{g}{2}}$$

wenn g den brechenden Winkel des Prisma und D das Minimum der Ablenkung eines Lichtstrahls durch dasselbe, die sich beide mit großer Genauigkeit messen lassen, bezeichnet.

Von durchsichtigen Mitteln mit **gekrümmten** Oberflächen werden in der Regel nur die sphärischen Linsen angewendet, die zwei Kugeloberflächensegmente, von denen jedoch das eine einen unendlich großen Krümmungshalbmesser haben, d. h. eben sein kann, besitzen. Man hat **Sammellinsen** und **Zerstreuungslinsen** zu unterscheiden.

Die erstern sind biconvex, planconvex oder concavconvex, aber immer in der Mitte dicker, als am Rande; die letztern sind biconcav, planconcav oder convexconcav, aber immer am Rande dicker, als in der Mitte.

Die **Axe** einer Linse ist die die beiden Krümmungsmittelpunkte verbindende Grade; oder bei planconvexen und planconcaven Linsen die Normale aus dem Mittelpunkte der gekrümmten Fläche auf die ebene Fläche.

Eine Sammellinse macht parallel auf sie fallende Strahlen convergent, so daß sie sich hinter derselben in Einem Punkte, dem **Brennpunkte**, schneiden; eine Zerstreuungslinse macht parallele Strahlen divergent, so daß sie von Einem Punkte vor der Linse, dem **virtuel-**

len Brennpunkte oder Zerstreuungspunkte, auszugehen scheinen. Auch diese Sätze sind nur für centrale Strahlen genau richtig, und es findet hier eine sphärische Aberration wie bei den sphärischen Spiegeln statt.

Die Entfernung des Brennpunktes von der Linse, die Brennweite, hängt von dem Brechungsexponenten der Substanz der Linse und dem Krümmungshalbmesser ihrer Oberflächen ab. Für Glas z. B. ist die Brennweite einer biconvexen oder biconcaven Linse mit gleichen Krümmungshalbmessern beider Oberflächen ohngefähr gleich einem dieser Krümmungshalbmesser.

Convergente Strahlen werden durch eine Sammellinse stärker convergent, divergente so lange convergent, als der Punkt, von welchem sie ausgehen, entfernter als der Brennpunkt liegt, ihr Vereinigungspunkt hinter der Linse entfernt sich aber um so mehr, je näher der Punkt kommt, von dem aus sie divergiren. Strahlen, die vom Brennpunkte ausgehen, werden parallel; und noch stärker divergirende bleiben divergent, jedoch weniger als vorher.

Durch eine Zerstreuungslinse werden divergente Strahlen noch stärker divergent, convergente aber divergent, parallel oder schwächer convergent, je nachdem sie vor der Linse nach einem Punkte gerichtet waren, dessen Entfernung von der Linse größer, eben so groß oder kleiner als die Brennweite ist.

Ein unendlich entfernter Gegenstand giebt hinter einer Sammellinse ein verkehrtes, verkleinertes Bild in der Brennweite; — nähert sich der Gegenstand der Linse, so entfernt und vergrößert sich das verkehrte Bild; — ist der Gegenstand um die doppelte Brennweite von der Linse entfernt, so erscheint das Bild in derselben Entfernung und von gleicher Größe; — kommt der Gegenstand in die Brennweite, so giebt er parallele Strahlen; — bei noch größerer Näherung giebt er divergente Strahlen, die ihn vor der Linse, aber in größerer Entfernung, erscheinen lassen.

Eine Zerstreuungslinse läßt jeden Gegenstand, von welchem parallele oder divergente Strahlen auf sie fallen, vor der Linse in geringerer Entfernung und verkleinert erscheinen. Ein Gegenstand, dessen Strahlen convergent gemacht worden sind, kann durch eine Zerstreuungslinse aufrecht und vergrößert gesehen werden, wenn man sie vor dem Vereinigungspunkt derselben in einer Entfernung, welche die Brennweite etwas übertrifft, anbringt.

Kap. 41. Von den wichtigsten, auf Linsen und Hohlspiegeln sich gründenden Instrumenten.

Die Brillengläser für kurzsichtige, d. h. solche Augen, die einen Gegenstand nur deutlich sehen können, wenn die von ihm ausgehenden Strahlen eine beträchtliche Divergenz besitzen, sind Zerstreuungslinsen und werden nur für die Entfernung gebraucht; — wogegen fernsichtige Augen zum deutlichen Sehen eine geringe Divergenz der Strahlen, und daher für die Nähe Sammellinsen bedürfen.

Um in sehr großer Nähe und daher bei stark vergrößerter sichtbarer Größe sehen zu können, dienen die Lupen oder Sammellinsen von kurzer Brennweite.

Eine Lupe in Verbindung mit kleinen Spiegeln dient zur vergrößerten Abbildung kleiner Gegenstände in dem Dikatopter.

Die Laterna magica giebt durch eine Sammellinse das Bild eines mit Hülfe einer zweiten Linse stark beleuchteten Objectes verkehrt auf einer weißen Fläche, und dient sehr gut dazu, zu zeigen, daß, je mehr das Object sich der Linse nähert, um so mehr das Bild sich davon entfernt und größer wird.

In der Camera obscura läßt man entfernte Gegenstände ihr Bild auf eine weiße ebene Oberfläche in einem dunkeln Raume werfen. Fängt man das Bild auf einer matten Glastafel auf und betrachtet es in der Richtung der Strahlen, so bedarf es der Verdunkelung des Raumes nicht, und man hat die Camera clara.

Aehnlich sind die Vorrichtungen zur Daguerreotypie und Photographie, bei welchen die zu einem Bilde vereinigten Strahlen chemisch wirken.

Setzt man an die Stelle des entfernten Objectes ein kleines, sehr nahes, und erzeugt man durch eine Sammellinse von sehr kurzer Brennweite ein stark vergrößertes Bild davon, wobei jedoch das Object mittelst einer zweiten Sammellinse und intensiven einfallenden Lichtes sehr stark erleuchtet werden muß, so erhält man das Sonnenmikroskop.

Betrachtet man das Bild einer Sammellinse, ohne es wirklich aufzufangen, mit einer Lupe, dem Oculare, so hat man entweder das astronomische Fernrohr, oder das zusammengesetzte Mikroskop. In beiden sieht man den Gegenstand verkehrt. Bringt man beim Fernrohre durch zwei zwischen den Brennpunkt des Objectivs und das Ocular eingeschaltete Sammellinsen das Bild in seine natürliche Stellung, so erhält man das terestrische Fernrohr.

Das Galliläische Fernrohr besteht aus einer Sammellinse als Objectiv und einer vor dem Vereinigungspunkte der Strahlen so angebrachten Zerstreuungslinse, daß die vorher convergenten Strahlen die zum deutlichen Sehen nöthige Divergenz erhalten. Es läßt die Gegenstände in natürlicher Stellung sehen.

Anstatt der Sammellinsen können Hohlspiegel dienen, was besonders in Betreff des Objectivs des astronomischen Fernrohrs geschieht, wodurch die Spiegelteleskope entstehen. Bei ihnen sind besondere Vorrichtungen erforderlich, damit der Kopf des Beobachters den einfallenden Lichtstrahlen nicht in den Weg trete.

Kap. 42. Von der Zerstreuung (Dispersion) und dem Achromatismus.

Weißes Licht wird durch ein Prisma nicht blos gebrochen, sondern auch in Strahlen zerlegt, die sich durch verschiedene Brechbarkeit und verschiedene Farbe von einander unterscheiden. Man stellt den Versuch objectiv an, indem man Sonnenlicht auf ein Prisma durch eine Oeffnung von in der Richtung der Einfallsebene geringer Ausdehnung fallen läßt und die hindurchgegangenen Strahlen auf einer weißen Fläche auffängt; — subjectiv, indem man einen schmalen weißen Streifen auf schwarzem Grunde durch ein Prisma betrachtet. Dicht hinter dem Prisma ist das Bild noch weiß mit farbigen Rändern; je weiter davon es betrachtet wird, um so mehr dehnt es sich in der Richtung der Einfallsebene aus, um so entschiedener treten die Farben hervor. Das vollkommen entwickelte Farbenbild oder Spectrum zeigt vollkommen in einander übergehende Farben, unter denen man jedoch sieben willkürlich unterschieden hat. Roth fängt an der Seite der geringsten Brechung an, worauf Orange, Gelb, Grün, Blau, Indigo und Violett, welches die größte Brechbarkeit zeigt, folgen.

Trennt man die Farben des Spectrums möglichst gut, am Besten, indem man das durch ein Prisma gebrochene Licht eines entfernten schmalen Spaltes mit einem Fernrohre betrachtet, so erkennt man in dem Spectrum eine große Zahl mehr und weniger deutlicher dunkler Linien, die nach ihrem Entdecker die Frauenhoferschen genannt werden, und die sich dadurch auszeichnen, daß sie unter allen Umständen für Licht von derselben Quelle dieselbe relative Lage gegen einander haben. — Für Sonnenlicht werden nach Frauenhofer beson-

ders sieben deutlichere Streifen hervorgehoben, und mit B, C, D, E, F, G und H bezeichnet.

Licht, welches nur aus Strahlen gleicher Brechbarkeit besteht, nennt man homogenes. Vollkommen homogenes Licht kann man nicht darstellen, wenn auch sich ihm sehr nähern.

Wegen der verschiedenen Brechbarkeit der verschiedenen Strahlen ist der Brechungsexponent einer Substanz nur für Strahlen einer bestimmten Farbe und Brechbarkeit ein bestimmter, und um denselben für eine Substanz genau anzugeben, bestimmt man ihn für eine oder mehrere der genannten Linien. So fand man z. B. für ein Crownglas den Brechungsexponenten für die Linie B 1,526 und für H 1,547.

Werden alle Farben des aus weißem Lichte entstandenen Spectrums wieder vereinigt, so geben sie wieder weißes Licht. Daher erscheint das Licht eines weißen Streifens nach dem Durchgange durch das Prisma in der Mitte weiß und nur an den Rändern gefärbt, wenn der Streifen zu breit ist, oder das Spectrum zu nahe hinter dem Prisma gebildet wird.

Theilt man das Spectrum von weißem Lichte in zwei Theile, und vereinigt man die Farben jeden Theiles, so erhält man zwei verschiedene Farben, die, weil sie zusammengenommen weiß geben, complementäre heißen.

Die Differenz des Brechungsexponenten einer Substanz für die Linien B und H heißt ihre Zerstreuung oder Dispersion. Sie ist sehr verschieden für verschiedene Substanzen, u. a. für Crownglas ohngefähr 0,02 und für Flintglas etwa 0,04.

Darin ist die Möglichkeit begründet, durch zwei Prismen verschiedener Substanzen die Zerstreuung aufzuheben, ohne die Brechung, d. h. die Ablenkung von der ursprünglichen Richtung, zu vernichten, worauf der Achromatismus beruht.

Es werden z. B. ein Prisma von Crownglas und eins von Flintglas, welche beide dieselbe Zerstreuung hervorbringen, die Lichtstrahlen nicht gleich stark brechen, sondern das erstere wird sie stärker ablenken, als das letztere. Combinirt man sie daher so, daß ihre Wirkungen auf hindurchgehende Lichtstrahlen einander entgegengesetzt sind, so wird die Zerstreuung, welche das eine hervorbringt, von dem andern aufgehoben werden; dagegen wird die Brechung des Crownglases nicht ganz durch das Flintglas compensirt, und ein weißer Lichtstrahl wird weiß, aber nach der Seite hin, nach welcher ihn das Crownglasprisma allein brechen würde, wiewohl weniger stark, abgelenkt erscheinen.

Der Achromatismus ist nicht ganz vollkommen, weil die Zerstreuung zweier Mittel nicht für alle Strahlen in ganz gleichem Verhältnisse steht; man sucht daher die Strahlen mit der größten Lichtstärke vorzugsweise zu vereinigen.

Die Brennweite einer Linse ist für Strahlen verschiedener Brechbarkeit verschieden, das von einer einfachen Linse erzeugte Bild eines Gegenstandes erscheint daher mit gefärbten Rändern, was seiner Deutlichkeit und Schärfe besonders bei Fernröhren und zusammengesetzten Mikroskopen großen Eintrag thut. Durch Combination zweier, zuweilen auch dreier Linsen aus verschiedenen Substanzen, gewöhnlich Crown = und Flintglas, kann man dieselben achromatisch machen, was eine bedeutende Verbesserung dieser Instrumente herbeigeführt hat.

Kap. 43. Vom menschlichen Sehen.

Das menschliche Auge wirkt wie eine achromatische Sammellinse, deren Haupttheile die wässrige Feuchtigkeit, die Krystalllinse und die Glasfeuchtigkeit sind. Ein äußerer leuchtender Gegenstand bringt durch die von ihm ausgehenden, in das Auge dringenden Strahlen ein verkehrtes kleines Bild von sich auf der Netzhaut hervor, und in dem Eindrucke, den wir auf der Netzhaut von den in einem Punkte vereinigten Strahlen eines leuchtenden Punktes erhalten, besteht das Sehen des letztern, welches in der Richtung erfolgt, in welcher die Strahlen in das Auge eindringen.

Nur eine bestimmte Divergenz von Strahlen kann bei ein und derselben Sammellinse in derselben Entfernung von ihr ein deutliches Bild geben; es würde daher das Auge nur in einer einzigen Entfernung deutlich sehen können, wenn es sich nicht für Strahlen von verschiedener Divergenz zu accommodiren vermögte. Ein gesundes, normales Auge sieht Gegenstände von 8 Zoll bis zu unendlicher Entfernung deutlich.

Sind die aus 8 Zoll Entfernung kommenden Strahlen für ein Auge schon zu divergent, so ist es fernsichtig, und sind Strahlen von größerer Entfernung zu wenig divergent, so ist das Auge kurzsichtig.

Mit beiden Augen sieht man einen leuchtenden Punkt in der Regel nur einfach, man kann ihn aber doppelt sehen, wenn man die Augen für eine Entfernung accommodirt, die größer oder kleiner als die des leuchtenden Punktes ist.

Die Bilder, welche ein nahes körperliches Object in beiden Au=

gen giebt, sind etwas verschieden, wodurch die Erhabenheiten und Vertiefungen hervortreten. Deshalb erscheint in dem Stereoskop ein Körper mit Erhabenheiten und Vertiefungen, wenn man mit jedem Auge eine ebene Figur betrachtet, die so gezeichnet ist, wie sie der Körper gegeben haben würde.

Um gesehen zu werden, muß ein Gegenstand eine gewisse sichtbare Größe haben; bei starkem Contraste der Beleuchtung des Objectes und der Umgebung kann man noch bei wenigen Secunden, unter gewöhnlichen Umständen ohngefähr bei 30 Secunden sichtbarer Größe, ein Object sehen.

Die scheinbare Größe eines hellen Gegenstandes wird durch die Irradiation vergrößert.

Der auf der Netzhaut gemachte Lichteindruck verschwindet erst nach einiger Zeit, weshalb bewegte Körper noch an Stellen gesehen werden, welche sie schon verlassen haben. Deshalb erscheinen Scheiben mit Sectoren von verschiedener Helligkeit oder Farbe bei hinlänglich schneller Drehung gleichförmig erleuchtet; sie erscheinen weiß oder grau, wenn man auf die Sectoren die prismatischen Farben in richtigem Verhältnisse aufträgt. Darauf beruhen auch die Erscheinungen des Phenakistokops.

Die subjectiven Bilder und Farben sind solche, die auf unserer Netzhaut erscheinen, ohne daß sie wirklich vorhanden sind. Sie entstehen theils durch den eine Zeitlang bleibenden Eindruck, theils durch die Ermüdung der Netzhaut, theils durch den Contrast. Der letztere bewirkt, daß wir eine weiße Fläche mit der complementären Farbe ihrer Umgebung sehen; sie erscheint hellweiß in einer dunkeln, grau und fast schwarz in einer sehr hellen, roth in einer grünen Umgebung u. s. w. Dahin gehören besonders die farbigen Schatten.

Kap. 44. Von der Interferenz.

Das Licht besteht in Schwingungen des Aethers, und diese breiten sich von einem leuchtenden Punkte aus nach allen Seiten hin aus, so daß die dadurch hervorgebrachten Lichtwellen in einem homogenen Mittel Kugeloberflächen bilden. Die Aethertheilchen machen dabei Schwingungen, die in der Wellenoberfläche liegen, also normal auf der Richtung der Lichtstrahlen stattfinden. In der Zeit, in welcher ein Aethertheilchen eine ganze Oscillation macht, pflanzt sich das Licht um eine Wellenlänge fort. Die Wellenlänge ist aber verschieden für

Licht von verschiedener Brechbarkeit, am größten für rothes, am kleinsten für violettes Licht.

Treffen zwei fast parallele Lichtstrahlen in einem Punkte zusammen, und sind die Bewegungen, in welche das Aethertheilchen dieses Punktes versetzt wird, für beide gleich gerichtet, so werden sie sich gegenseitig verstärken, — sind sie entgegengesetzt und von gleicher Stärke, so werden sie sich vernichten, das Aethertheilchen wird in Ruhe bleiben, das Licht wird durch Licht aufgehoben werden.

Dieser wichtige, für die Undulationstheorie entscheidende Satz wird am besten bewiesen durch Fresnel's zwei unter sehr stumpfem Winkel an einander stoßende Spiegel, die das Licht eines Punktes oder einer mit dem Durchschnitte beider Spiegel parallelen Linie in nicht zu geringer Entfernung davon reflectiren. An denjenigen Stellen, wo die zusammentreffenden Strahlen beider Spiegel genau gleiche Wege, von der Lichtquelle an gerechnet, zurückgelegt haben, werden beide immer in derselben Schwingungsphase begriffen sein, und sich daher verstärken. Zu beiden Seiten davon, wo die Weglänge des einen Strahles von der des andern um eine halbe Wellenlänge differirt, werden beide mit gerade entgegengesetzten Schwingungsphasen begriffen sein, und sich auslöschen. Ferner wird bei einer Wegdifferenz von 1, 2 u. s. w. Wellenlängen Verstärkung, von $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ u. s. w. Wellenlängen Aufhebung der Lichtwirkung erfolgen, — woraus abwechselnd helle und dunkle Streifen parallel der gemeinsamen Kante der beiden Spiegel entstehen müssen. Hätte man dabei vollkommen homogenes Licht, so würden unendlich viele solche Streifen entstehen, allein auch mit dem möglichst homogenen Lichte sieht man nur eine beschränkte Anzahl davon, den mittelsten, der der gleichen Weglänge beider Strahlen entspricht, am hellsten, die beiden ihn begrenzenden am dunkelsten, dann aber die hellen an Helligkeit ab- und an Breite zunehmend, und daher bald nach beiden Seiten hin sich verlierend. Die Breite der Streifen muß nämlich der Wellenlänge des Lichtes proportional sein; da aber das homogenste Licht, das man sich verschaffen kann, immer noch aus Strahlen etwas verschiedener Brechbarkeit, d. h. Wellenlänge besteht, so wird es auch Streifen verschiedener Breite geben, die zusammen die angegebene Wirkung hervorbringen. — Die verschiedenen Farben des weißen Lichtes geben aus demselben Grunde Streifen von verschiedener Breite, das rothe Licht giebt die breitesten, das violette die schmalsten; stellt man daher den Versuch mit weißem Lichte an, so wird nur der mittlere Streifen, in welchem

für alle Strahlen der Wegunterschied Null ist, vollkommen hell und weiß, die übrigen aber farbig erscheinen, und die Erscheinung wird in noch geringerer Entfernung vom mittleren Streifen unkenntlich, als dieß bei möglichst homogenem Lichte der Fall ist.

Da die Streifen immer sehr schmal sind, so beobachtet man sie am besten mit einer Lupe.

Aus der Breite der Streifen einer bestimmten Farbe, dem Neigungswinkel der Spiegel und der Entfernung des Lichtbildes läßt sich die Wellenlänge dieser Farbe berechnen. Genauer noch haben andere Interferenzerscheinungen sie finden lassen, und man hat die Wellenlänge der Frauenhofer'schen Linie B zu 0,0006879 mm

C	"	6559
D	"	5888
E	"	5265
F	"	4856
G	"	4296
H	"	3963

bestimmt.

Andere Interferenz-Erscheinungen waren schon seit längerer Zeit bekannt, dahin gehören besonders die farbigen Streifen, die feine Oeffnungen oder Spalten, so wie feine undurchsichtige Körper in von einem Punkte oder einer Linie ausgehendem Lichte zeigen, die von Grimaldi zuerst aufgefunden und unter dem Namen der Lichtbeugung, Inflexion oder Diffraction begriffen wurden. Sie lassen sich besonders gut durch Fernröhre beobachten, und sind sehr vollständig für Oeffnungen von verschiedener Form und Anzahl von Schwerd studirt und erklärt worden, nachdem die Beobachtungen der Interferenzerscheinungen durch Gitter von Frauenhofer vorausgegangen waren.

Eben so erklären sich durch die Interferenz die Farben dünner Blättchen und die in durchsichtigen Mitteln von radial zunehmender Dicke hervorgebrachten Newton'schen Farbenringe, die Newton sehr genau studirte, und durch die Emanationstheorie mit Hinzunahme einer Hülfshypothese erklärte. Fällt nämlich weißes Licht auf ein sehr dünnes durchsichtiges Blättchen, das sich in einem Mittel von anderem Brechungsvermögen befindet, so wird dasselbe farbig reflectirt und damit complementär farbig, jedoch mit vielem Weiß gemischt, durchgelassen. Die Erscheinung erklärt sich aus der Reflection, die das Licht jedes Mal erleidet, wenn es von einem Mittel in ein

anderes von verschiedener Brechkraft übergeht, mit Hinzunahme des Umstandes, daß, wenn der Uebergang aus dem mehr in das weniger brechende Mittel erfolgt, das reflectirte Licht in derselben Schwingungsphase bleibt, welche das einfallende hatte; dagegen ersteres gegen letzteres um eine halbe Wellenlänge zurückbleibt, wenn der Uebergang aus dem weniger in das mehr brechende Mittel stattfindet. Besitzt daher das Blättchen die Dicke von $\frac{1}{4}$, $\frac{3}{4}$, $\frac{5}{4}$ ꝛc. Wellenlängen, so werden beide reflectirte Lichtstrahlen sich verstärken, bei einer Dicke von $\frac{1}{2}$, $\frac{2}{2}$, $\frac{3}{2}$ ꝛc. Wellenlängen werden sie sich gegenseitig zerstören; da aber für verschiedene Farben die Wellenlängen verschieden sind, so wird eine gewisse Dicke nur die Vernichtung und Schwächung einiger Farben veranlassen, und das reflectirte Licht farbig erscheinen. Ist die Dicke verschwindend klein, so vernichten sich alle an beiden Oberflächen reflectirten Strahlen gegenseitig und das Blättchen erscheint vollkommen schwarz. — Die Farben des durchgelassenen Lichtes erklären sich aus der Interferenz des unmittelbar und des nach zwei inneren Reflectionen durchgehenden Lichtes; da jedoch ersteres eine weit größere Intensität besitzt, so waltet in diesen Farben das Weiß sehr vor. — Die so entstehenden Farben zeigen sich an feinen Sprüngen in durchsichtigen Körpern, die Ringe zwischen einem Planglase und einer convexen Linse von großem Krümmungshalbmesser, auch ganz gut an Seifenblasen.

Kap. 45. Von der Polarisation und der doppelten Brechung.

In einem gewöhnlichen Lichtstrahle schwingen die Aethertheilchen senkrecht auf seine Richtung in allen Ebenen. Schwingen dagegen die Aethertheilchen in einem Lichtstrahle nur in einer einzigen Ebene, so heißt er **polarisirt**; er ist es theilweise, wenn die Schwingungen in einer Ebene zahlreicher erfolgen, als in den übrigen.

Ein Lichtstrahl wird polarisirt durch die Reflection von einem nicht metallischen Spiegel, und zwar vollständig, wenn der einfallende Strahl mit dem gebrochenen einen rechten Winkel macht, oder wenn der Einfallswinkel $= \delta$ so groß ist, daß $\text{tg.}\ \delta = \text{n}$, wenn n das Brechungsverhältniß der beiden Mittel bezeichnet. Daraus folgt, daß der Winkel der vollkommenen Polarisation mit dem Brechungsverhältniß zunimmt, und nicht für die Strahlen verschiedener Brechbarkeit genau derselbe ist. Der Einfallswinkel, welcher der vollkommenen Polarisation beim Glase entspricht, ist ohngefähr $54\frac{1}{2}$ Grad. Die Po-

larisationsebene eines solchen Strahles ist die Einfallsebene; die Schwingungen der Aethertheilchen erfolgen normal auf die Polarisationsebene. Unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation kann daher ein Glasspiegel nur Lichtstrahlen zurückwerfen, die senkrecht auf der Einfallsebene schwingen.

Ein polarisirter Lichtstrahl kann nicht unmittelbar in einen anderen übergehen, dessen Polarisationsebene auf der des ersten normal steht.

Fällt ein polarisirter Lichtstrahl auf einen Glasspiegel unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation, und ist die Einfallsebene der Polarisationsebene parallel, so wird er fast vollständig reflectirt; wächst der Winkel, den die neue Polarisationsebene mit der ersten macht, den man das Azimuth der zweiten Polarisationsebene nennt, so nimmt die Intensität des reflectirten Lichtes ab, so, daß die Schwingungs-Intensität im zweiten Strahle sich verhält, wie cos. α, wenn α das Polarisationsazimuth ist.

Stehen in einem Polarisationsapparate zwei Spiegel so, daß ein Lichtstrahl beide hinter einander unter dem Winkel der vollkommenen Polarisation trifft, und ihre Polarisationsebenen auf einander normal sind, so nennt man sie gekreuzte. Der zweite reflectirt dann ohne weiteres Hinzuthun kein Licht, aber eine geringe Aenderung seines Azimuths wird merklich Lichtreflection bewirken.

Auch ein gebrochener Strahl ist polarisirt, am vollkommensten ebenfalls unter dem Einfallswinkel der vollkommenen Polarisation, immer aber nur theilweise. Durch wiederholte Refractionen kann man einen Lichtstrahl der vollkommenen Polarisation nahe bringen. Seine Polarisationsebene steht senkrecht auf der Einfallsebene.

Eine der Krystallaxe parallele Turmalinplatte läßt, mehr oder weniger vollkommen, nur Licht durchgehen, das normal auf die Axe polarisirt ist, weshalb man oft zweckmäßig den zweiten Spiegel durch eine, oder beide Spiegel durch zwei Turmalinplatten ersetzt.

Legt man einen Turmalin zwischen zwei gekreuzte Spiegel, so daß seine Axe mit der Polarisationsebene des ersten den Winkel γ, mit der des zweiten den Winkel ε macht, so reflectirt der zweite Spiegel wieder Licht, dessen Intensität von cos. γ . cos. ε abhängt, und ein Maximum ist, wenn $\gamma = \varepsilon = 45^0$, indem dann

$$\cos.\ \gamma \cdot \cos.\ \varepsilon = \tfrac{1}{2}.$$

Geht ein Lichtstrahl durch einen nicht tesseralen Krystall, so theilt er sich in zwei Strahlen, was die doppelte Brechung genannt wird, und schon lange vor der Entdeckung der Polarisation (1811

durch Malus) zum Theil bekannt war (Bartholinus 1669). Nur in wenigen Fällen divergiren die beiden aus einem einzigen Lichtstrahle entstehenden Strahlen so stark, und ist daher ihre Trennung so leicht zu beobachten, wie beim Kalkspath.

Bei einaxigen, d. h. solchen Krystallen, die dem hexagonalen oder tetragonalen Krystallsysteme angehören, nennt man Hauptschnitt eine durch den Lichtstrahl und die Hauptaxe gelegte Ebene. Die beiden Strahlen sind polarisirt, der eine im Hauptschnitt, der andere normal darauf. In einem solchen Krystalle erfolgen nur Aetherschwingungen in dem Hauptschnitte und normal darauf. Die letzteren sind daher immer normal auf der Axe. Die Fortpflanzungs-Geschwindigkeit des Lichtes ändert sich aber mit dem Winkel, den die Richtung der Aetherschwingungen mit der Hauptaxe, welche auch die optische Axe heißt, einschließt. Deshalb trennt sich ein Lichtstrahl in einem einaxigen Mittel in zwei, von denen der eine durch Schwingungen normal auf die Axe entsteht, daher im Hauptschnitte polarisirt ist, und immer gleiche Fortpflanzungsgeschwindigkeit, folglich auch gleiche Brechbarkeit besitzt, und der ordinäre Strahl genannt wird; wogegen der andere normal auf dem Hauptschnitte polarisirt ist, eine mit dem Winkel, den er mit der Axe einschließt, veränderliche Fortpflanzungsgeschwindigkeit und also auch Brechbarkeit besitzt, und der extraordinäre Strahl heißt.

Der ordinäre Strahl folgt überhaupt den gemeinen Brechungs-Gesetzen, und bleibt in der Einfallsebene; der extraordinäre Strahl weicht aus dieser ab, ausgenommen, wenn die Einfallsebene parallel oder normal dem Hauptschnitte ist. — Für alle auf der optischen Axe normalen Strahlen ist das Brechungsverhältniß des extraordinären Strahles ein constantes, weicht aber von dem des ordinären Strahles am meisten ab. Dieser Fall wird immer verstanden, wenn für das Brechungsverhältniß des extraordinären Strahles ein bestimmter Werth angegeben wird.

Ein Krystall heißt positiv, wenn das Brechungsverhältniß des extraordinären Strahles größer, negativ, wenn es kleiner ist, als das des ordinären Strahles.

Quarz, Turmalin, Baryt, Zirkon, Zinnstein, Eis sind positive, — Kalkspath und andere Carbonspäthe, Corund, Apatit, Idocras, einaxiger Glimmer, Honigstein, salpetersaures Natron sind negative Krystalle.

Die Brechungsverhältnisse des ordinären und des extraordinären Strahles sind

beim Kalkspath 1,654 und 1,483

beim Quarz 1,548 und 1,558.

Eine Krystallplatte mit zwei parallelen Oberflächen giebt nur von nahen Gegenständen zwei deutlich getrennte Bilder; dagegen trennt ein Prisma, am besten, wenn seine brechende Kante der Krystallaxe parallel ist, einen Lichtstrahl in zwei, die einen Winkel einschließen, dessen Größe von dem brechenden Winkel des Prismas und dem Unterschiede des Brechungsverhältnisses des ordinären und extraordinären Strahles abhängt. Man sieht daher durch ein doppelt brechendes Prisma auch entfernte Gegenstände unter diesem Winkel getrennt. Um die prismatischen Farben wegzunehmen, achromatisirt man ein solches Prisma durch ein zweites von Glas oder von einem Krystall, dessen Axe den Lichtstrahlen parallel ist.

Die Nicol'schen Prismen sind aus zwei Kalkspathprismen gebildet, die durch Canadabalsam vereinigt werden; derselbe hat ein geringeres Brechungsverhältniß als der ordinäre, ein größeres als der extraordinäre Strahl, und man combinirt die Prismen so, daß der erstere an der zweiten Fläche eine totale Reflection erleidet, daher nur der extraordinäre Strahl hindurchgeht. Dieselben ersetzen die Turmalinplatten vortheilhaft, indem sie ein einfaches, vollkommen polarisirtes und ungefärbtes Bild geben.

In Krystallen, die einem der Systeme von drei ungleichwerthigen Axen angehören, theilt sich ein Lichtstrahl ebenfalls in zwei vollkommen polarisirte von verschiedener Fortpflanzungsgeschwindigkeit, allein bei beiden ist die Geschwindigkeit oder das Brechungsverhältniß verschieden mit dem Winkel, den sie mit den Krystallaxen machen, weil es keine solche Axe giebt, normal auf welche die Aetherschwingungen in allen Richtungen eine constante Geschwindigkeit besäßen. — In solchen Krystallen giebt es zwei Richtungen, in welchen die Lichtstrahlen sich nur mit Einer Geschwindigkeit fortpflanzen, und diese heißen die optischen Axen. Die Krystalle aber optisch zweiaxig. — In dem rhombischen Krystallsysteme mit drei auf einander rechtwinkligen Axen liegen die beiden optischen Axen in der Ebene zweier Krystallaxen und die von den erstern gebildeten Winkel werden von den letztern halbirt. Die Krystallaxe, welche den spitzen Winkel der optischen Axen halbirt, heißt die Mittellinie, und vertritt in so fern die Stelle der Hauptaxe der einaxigen Krystalle, als ein Lichtstrahl,

der in einer Ebene zweier Krystallaxen liegt, sich in zwei theilt, von denen der eine in der durch die Mittellinie gelegten Ebene, der andere normal darauf polarisirt ist. Ist der Lichtstrahl der Mittellinie parallel, so wird er in der Ebene der optischen Axen und normal darauf polarisirt.

Der Winkel, den die optischen Axen mit einander einschließen, kann alle möglichen Werthe haben und variirt schon bei Substanzen von sehr ähnlicher Beschaffenheit, z. B. bei den verschiedenen Glimmerarten, sehr beträchtlich.

Normal auf einander polarisirte Strahlen können nicht interferiren.

Bringt man eine Krystallplatte, deren Oberflächen mit einander und mit der Axe oder der Mittellinie parallel sind, zwischen zwei gekreuzte Polarisationsebenen, so erscheint sie dunkel, wenn ihre Axe oder Mittellinie in die erste oder zweite Polarisationsebene fällt, in allen andern Lagen hell, und am hellsten, wenn die Axe oder Mittellinie einen Winkel von 45° mit beiden Polarisationsebenen macht, wie aus dem oben betrachteten Verhalten einer Turmalinplatte erhellt. — Die beiden Strahlen in der Platte, welche normal auf einander polarisirt sind, und durch den zweiten Polarisationsapparat zu einer gemeinschaftlichen Polarisationsebene zurückgeführt werden, haben innerhalb des Krystalles verschiedene Geschwindigkeit, machen daher auch in demselben verschiedene Schwingungsmengen. — Ist die Krystallplatte sehr dünn, und daher der Unterschied in der Schwingungsmenge beider Strahlen eine geringe Anzahl, so erhält man lebhafte Farben, die unter dem Namen der Farben dünner Krystallblättchen im polarisirten Lichte bekannt sind. Zu Versuchen hierüber eignet sich am besten der Gyps, der sich leicht in dünne Blättchen trennen läßt, in deren Oberfläche die Mittellinie liegt, einen Winkel von ohngefähr 20° mit der langen Diagonale des Spaltungsrhombus einschließend.

Es läßt sich leicht zeigen, daß, wenn die Dicke des Blättchens so groß ist, daß die beiden Strahlen in demselben bei einem homogenen Lichte um eine ganze Anzahl von Schwingungen differiren, sie nach Zurückführung in die zweite Polarisationsebene so interferiren, daß sie sich vernichten und dunkel geben; — daß dagegen bei einer Differenz von $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{2}$, $\frac{5}{2}$ 2c. Schwingungsmengen sie sich verstärken und

hell geben. — Sind die beiden Polarisationsebenen des Apparates nicht gekreuzt, sondern parallel, so erhält man im ersten Falle Helligkeit, im zweiten Dunkelheit. — Bei weißem Lichte differiren die Strahlen verschiedener Brechbarkeit um verschiedene Schwingungsmengen, daher werden bei gekreuzten Polarisationsebenen einige geschwächt oder ganz ausgelöscht, andere mehr oder weniger verstärkt, und man erhält bunte Farben, die ganz analog den Newtonischen Farben dünner Blättchen bei zunehmender Dicke auf einander folgen und in Weiß übergehen, wenn die Differenz der Schwingungsmengen der beiden Strahlen 4 bis 5 übersteigt. — Bei parallelen Polarisationsebenen erhält man Farben, die den bei gekreuzten erhaltenen vollkommen complementär sind.

Bei Gypsblättchen beträgt die Dicke, die der Differenz einer Welle entspricht, für rothes Licht 0,078^{mm} und für violettes Licht 0,053^{mm}.

Keilförmige Blättchen geben Farbenstreifen.

Normal gekreuzte Blättchen geben Farben, die der Differenz ihrer Dicke entsprechen, und daher zwei Quarzplatten von ziemlich gleicher Dicke, von denen die eine eine concave Oberfläche besitzt, farbige Ringe.

Ein einaxiger Krystall mit parallelen Flächen normal auf die Axe giebt zwischen gekreuzten Polarisationsebenen ein schwarzes, zwischen parallelen Polarisationsebenen ein weißes Kreuz; in den Winkeln dieses Kreuzes erscheinen farbige Ringe, die den Farben um so dickerer Blättchen entsprechen, je weiter sie vom Mittelpunkte abstehen, weil die Differenz der Schwingungsmengen des ordinären und extraordinären Strahles um so größer wird, je größer der Winkel ist, den der Lichtstrahl mit der Axe des Krystalls macht. — Der Durchmesser der Ringe nimmt ab mit der Zunahme der Dicke der Platte und mit der Zunahme der Differenz des Brechungsverhältnisses des ordinären und extraordinären Strahles.

Bringt man zwischen gekreuzte Polarisationsebenen eine Platte eines zweiaxigen Krystalles, deren Oberflächen normal auf einer der optischen Axen sind, so erscheinen ovale gefärbte Ringe, durch welche in der Richtung der Axenebene, wenn dieselbe mit einer der Polarisationsebenen zusammenfällt, ein nach dem Mittelpunkte hin sehr schmal werdender schwarzer Streifen geht, wie z. B. bei Zucker mit Oberflächen nach der vorherrschenden Spaltungsrichtung.

Machen, wie z. B. beim Salpeter, die beiden Axen einen so

kleinen Winkel mit einander, daß man in der Richtung beider zugleich sehen kann, wenn man eine normal auf die Mittellinie geschliffene Platte zwischen die gekreuzten Polarisationsebenen bringt, so sieht man beide Ringsysteme, die, wo sie über einander greifen würden, Lemniscaten bilden, und durch einen breiten, auf die Ebene der optischen Axen normalen schwarzen Streifen getrennt sind. — Dreht man die Platte in ihrer Ebene, so bleiben die beiden Systeme farbiger Ringe, die schwarzen Streifen gehen aber in nach Außen concave Curven über, die die Mittelpunkte der Ringe durchschneiden, und bei einem Winkel von 45° der Axenebene mit den Polarisationsebenen symmetrisch sind.

Bei Krystallen, deren optische Axen einen größeren Winkel einschließen, kann man auf Ein Mal nur Ein Ringsystem sehen, indem man die auf die Mittellinie normale Platte gegen die Axe des Instrumentes neigt, z. B. bei durch die Spaltungsrichtungen gebildeten Platten von Topas oder zweiaxigem Glimmer. Durch Messung des Winkels, um den die Platte gedreht werden muß, um das eine oder andere Ringsystem in die Mitte des Gesichtsfeldes zu bringen, kann man den Winkel messen, den beide optische Axen einschließen. — Für Strahlen verschiedener Brechbarkeit haben die optischen Axen verschiedene Richtung, in einigen Fällen liegen sie sogar in verschiedenen Ebenen.

Durchsichtige Mittel von einfacher Brechung werden doppelt brechend, wenn ihre Cohäsionsverhältnisse durch einseitigen Druck, ungleichförmige Erwärmung oder sonst nach verschiedenen Richtungen verschieden gemacht werden; so haben z. B. gewöhnliche Glasstäbe oder Glasröhren eine der Cylinderaxe parallele optische Axe.

Ob ein uns zukommendes Licht theilweise polarisirt sei, erkennt man leicht mit Hülfe eines mit einer zur Axe senkrechten Kalkspathplatte versehenen Nicol'schen Prismas.

Ob Pulver und dünne Platten durchsichtiger Körper krystallinisches Gefüge haben, läßt sich zwischen zwei gekreuzten Polarisationsebenen leicht erkennen. Sind die zu beurtheilenden Theile sehr klein, so verbindet man den Polarisationsapparat zweckmäßig mit einem Mikroskope.

Einaxiger Glimmer läßt das Feld der gekreuzten Polarisationsebenen, zwischen welche man ein Blättchen davon bringt, dunkel, wenn das Blättchen normal auf dem Lichtstrahle steht, übrigens aber beliebig in seiner Ebene gedreht wird; zweiaxiger Glimmer dagegen wird bei einer solchen Drehung um 360° vier helle und vier dunkle Phasen zeigen.

Manche Substanzen drehen die Polarisationsebene eines durch sie hindurchgehenden Lichtstrahles, was man mit Circularpolarisation bezeichnet.

Diese Drehung wird durch die Theilung des Lichtstrahles in zwei hervorgebracht, in denen die Aethertheilchen kreisförmige Bahnen in entgegengesetzter Richtung und mit verschiedener Geschwindigkeit beschreiben, und die sich beim Austritt aus dem Mittel zu einem gradlinig polarisirten Strahle mit einer Polarisationsebene vereinigen, die von der ursprünglichen um so mehr abweicht, als der eine Strahl dem andern mehr vorangeeilt ist.

Der Winkel, um welchen die Polarisationsebene gedreht wird, nimmt zu mit der Brechbarkeit der Strahlen, mit der Dicke und der Dichtigkeit des Mittels, ist aber verschieden für verschiedene Substanzen, von denen Quarz in der Richtung der Axe, Zuckerauflösung, Terpentinöl, Weinsteinsäureauflösung hervorzuheben sind. Es giebt rechts und links drehende Substanzen, und der Quarz gehört theils der einen, theils der anderen Art an.

Quarzplatten senkrecht auf die Axe zeigen in Folge davon zwischen gekreuzten Polarisationsebenen die farbigen Ringe einaxiger Krystalle, aber nicht das schwarze Kreuz. Bei der Drehung der zweiten Polarisationsebene nach rechts verändern sich die Farben entweder aus roth in orange, gelb, grün ꝛc., oder aus roth in violett, blau, grün ꝛc., je nachdem die Quarzplatte eine rechts oder links drehende ist.

Zwei gleich dicke auf der Axe normale Quarzplatten zeigen zwischen parallelen Polarisationsebenen dieselben Farben, diese differiren aber sogleich, sobald die eine der Polarisationsebenen gedreht wird, worauf das Polariskop von Arago beruht.

Durch Einwirkung eines Magneten (oder einer elektrischen Spirale) wird die Polarisationsebene von eben polarisirtem Lichte in mehreren Mitteln gedreht (Faraday).

Inhalts-Verzeichniß.

(Druck der Gerlach'schen Buchdruckerei in Freiberg.)

Reich, F.,

Leitfaden zu den Vorlesungen über Physik an der Bergakademie zu Freiburg

Bd.: 2

Freiberg 1853